

Johannes Hartikainen

Akustiikan vaikutus kotistudiomiksausessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Mediatekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

29.4.2018

Tekijä Otsikko	Johannes Hartikainen Akustiikan vaikutus kotistudiomiksauksessa
Sivumäärä Aika	31 sivua 29.4.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Mediatekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Digitaalinen media
Ohjaaja	Lehtori Ilkka Kylmäniemi
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli tutkia akustiikan vaikutusta miksaukseen kotistudiossa. Tavoitteena oli selvittää, onko mahdollista vaikuttaa miksauksen laatuun kotistudion akustiikkaan vaikuttamalla.</p> <p>Työssä perehdyttiin taajuuksien ja äänen taustoihin sekä äänen käyttäytymiseen tilassa. Lisäksi perehdyttiin taajuusväliin ja ihmisen kuuloalueeseen, jonka parissa äänen kanssa työskentely eniten vaikuttaa. Insinööriyön olennaiseksi osaksi nousi pinkin kohinan hyödyntäminen miksauksen apukeinona. Pinkki kohina käyttää sävelkorkeuksien energiaa ja niitten vaihteluita oktaaveittain. Pinkkiä kohinaa voidaan hyödyntää tasapainoisen miksauksen saavuttamiseksi.</p> <p>Insinööriyössä selvitettiin taajuusaluetta ja taajuuksien ominaisuuksia. Työssä selvitettiin myös akustiikan historiaa ja sen hyödyntämistä nykypäivän huonesuunnittelussa. Tätä tietoa hyödynnetään esimerkiksi toimistojen ja auditorioiden rakentamisessa, joissa halutaan tietynlaista akustiikkaa ja äänen kantavuutta. Tämän lisäksi insinööriyöhön kuului myös huoneen yleisten ongelmakohtien selvittämistä ja äänen käyttäytymisen selvittämistä erilaisilla pinnoilla. Huoneen ongelmakohtaksi paljastui huoneen huomattava kaiku paljaista seinistä ja katosta.</p> <p>Työssä tutkittiin akustiikan vaikutusta miksaukseen tekijän omassa kotistudiossa, joka koostui FL-Studiosta, joka toimii digitaalisena työasemana, ja kaiuttimista, jotka toistavat tarkasti korkeampia taajuuksia ja yhdestä matalammille taajuuksille suunnatusta basso-vahvistimesta. Mittaukset tehtiin Room EQ Wizard -ohjelman avulla kahdessa osassa, ennen huoneen akustista käsittelyä ja sen jälkeen.</p> <p>Insinööriyön tuloksena ei voitu osoittaa, että kotistudion käsitteleminen bassoansojen ja kotitekoisten eristysten avulla vaikuttaisi merkittävästi miksauksen laatuun. Sen sijaan työ havainnollisti pinkin kohinan hyödyn miksauksen apuvälineenä. Pinkin kohinan hyödyntäminen paransi kappaleen taajuuserojen vaihtuvuutta ja kappaleen selkeyttä. Insinööriyön tuloksien perusteella pinkkiä kohinaa voi jatkossa hyödyntää miksausapuvälineenä. Tulosten perusteella kotistudion huoneakustiikkaan voi vaikuttaa kotitekoisten eristeiden avulla vain rajallisesti.</p>	
Avainsanat	akustiikka, kotistudio, miksaus, pinkki kohina

Author Title	Johannes Hartikainen Akustiikan vaikutus kotistudiomiksausessa
Number of Pages Date	31 pages 29 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Media Technology
Specialisation Option	Digital Media
Instructor	Ilkka Kylmäniemi, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to examine the effects of acoustics in mixing music at home. The main goal of this thesis was to examine the impact of home studios acoustics on the quality of the mix.</p> <p>In this thesis I studied frequencies and the basics of sound and the behavior of sound in general. Furthermore, I processed the frequency range and the human hearing range, which affects the technical procedure the most. The essential part of this study was utilizing pink noise in order to ease the mixing of music.</p> <p>In this thesis I defined the frequency band and the features of different frequencies. I also studied the history of acoustics and the benefits of it in the modern architectural room design we see today. In addition to this, the thesis included examining the general problems of room design in order to improve the quality and the behavior of sound on different surfaces.</p> <p>In this thesis I have described the key features of the room in which this study took place and investigated the acoustical dilemmas that appear in the room and valued the acoustical effects on mixing in that room. In addition to this, I have described the hardware and the workstation I used to complete this study. The digital audio workstation I used in this thesis was FL-Studio. I had two speakers separately for playing higher frequencies and a one subwoofer for playing lower frequencies. The measurements were done in two parts by using a specific software called Room EQ Wizard. The first measurements were done without any acoustical improvements to the room and the second measurements were done with the improvements included.</p> <p>In conclusion, this study could not show any significant improvements to the quality of the mixing by using the acoustical treatments and bass traps that were done in order to enhance the quality of mixing. Instead this thesis demonstrated the benefits of using pink noise as a tool for mixing purposes. Utilizing pink noise helped to improve the varying frequencies and to clarify the music in general. As a result of this study, utilizing pink noise could be useful part of the general process of mixing music. This study shows that improving the acoustics of home studios via home made absorbers and bass traps can improve the room acoustics only limitedly.</p>	
Keywords	Acoustics, home studio, mixing, pink noise

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Ääni ja sen käyttäytyminen	1
2.1	Taajuusväli	3
2.2	Ääni akustiikan historiassa	7
2.3	Akustiset ongelmat tilankäytössä	9
2.4	Ääni erilaisilla pinnoilla	15
3	Miksaushuone ja sen ongelmakohdat	16
3.1	Huoneen laskettu akustisuus	16
3.2	Miksaukseen arvioitu huoneen akustiikan vaikutus	18
3.3	Työasema ja laitteisto	19
4	Varsinainen miksaus ja akustiikan havainnointi	20
4.1	Työn kulku vaiheittain	20
4.2	Rummut	25
4.3	Basso ja melodia	26
4.4	Efektit ja laulu	28
4.5	Tulokset	28
5	Yhteenveto	31
	Lähteet	32

1 Johdanto

Insinöörityössä tarkastellaan huoneakustiikan vaikutusta studiomiksauksessa. Insinöörityön tavoitteena oli tutkia, voiko miksauksen laatuun vaikuttaa huoneen akustiikka.

Huoneakustiikkaa on yleisesti lähdetty kehittämään viime vuosisadan aikana, jolloin alettiin keskittyä tarkemmin äänen käyttöön huoneessa ja siihen, miten akustiikka todellisuudessa vaikuttaa siihen, miltä äänen eteneminen huoneessa kuulostaa. Insinöörityössä perehdytään ensin yleisiin asioihin äänestä, hieman akustiikan historiaan sekä yleisiin akustisiin ongelmiin ja niiden parannusehdotuksiin. Tämän työn konkreettisena osana on niin kutsutun kotistudion soveltuvuus musiikin miksaamiseen. Kotistudio sisältää ympäristönä enemmän tavallisia kodin huonekaluja ammattilaistason studioihin nähden.

Selvitän yleisesti, minkälaisia akustiikkaa edistäviä tekniikoita ammattilaistudioissa hyödynnetään. Miksauksen osalta aion hyödyntää pinkkiä kohinaa apuvälineenä valitsemani kappaleen uudelleenmiksauksessa, mutta alkuperäiseen miksaukseen ja kappaleen miksaukseen yleisesti en tässä työssä paneudu, joten rajaan sen pois tämän työn osalta. Suoritan työn mittaukset ilmaiseksi ladattavissa olevan sovelluksen ja oman pöytämikrofonini avulla. Mittausten jälkeen vertaan tuloksien puitteissa aiempaa laatua uuteen versioon, johon olen soveltanut pinkkiä kohinaa. Miksausosio koskeekin lähinnä pinkin kohinan soveltamista, vaikka kerronkin miksaukseen liittyvistä asioista kuten taajuuskorjailusta yleisesti. Tässä opinnäytetyössä en miksa uudelleen valitsemaani kappaletta alusta loppuun, vaikka pieniä korjauksia teenkin.

2 Ääni ja sen käyttäytyminen

Akustiikan näkökulmasta on olennaista huomioida äänen käyttäytyminen erilaisten pintojen kanssa. Kun ääniaalto osuu kovaan pintaan, esimerkiksi betoniseinään, sille on tyypillistä kimmota seinästä eteenpäin kohti seuraavaa kohdetta, esimerkiksi toista betoniseinää. [1.]

Avarassa ja suuressa huoneessa äänelle on ominaista kaikua ja kimmota kovien pintojen välillä pitkien välimatkojen ja pehmeitten pintojen puutteen vuoksi. Pehmeät pinnat

vaimentavat ääntä paremmin. Ääni tarvitsee kuuluakseen aina jonkin välittäjäaineen, joka yleisimmin on ilma. Myös vesi toimii hyvänä äänen välittäjäaineena. Ääni kulkee vedessä nopeammin kuin ilmassa, mutta ilma on silti yleisin äänen välittäjäaine, jonka avulla äänet kuullaan. Äänen etenemisnopeuteen vaikuttaa myös lämpötila, kun taas ilmanpaineella ja kosteudella on vain vähän vaikutusta siihen. [1.]

Äänitettäessä tallennettu ääni näkyy vaakasuorana värisevänä aaltona, jossa korkeammat äänet esiintyvät korkeimpina kohtina ja vaimeammat äänet matalampina.

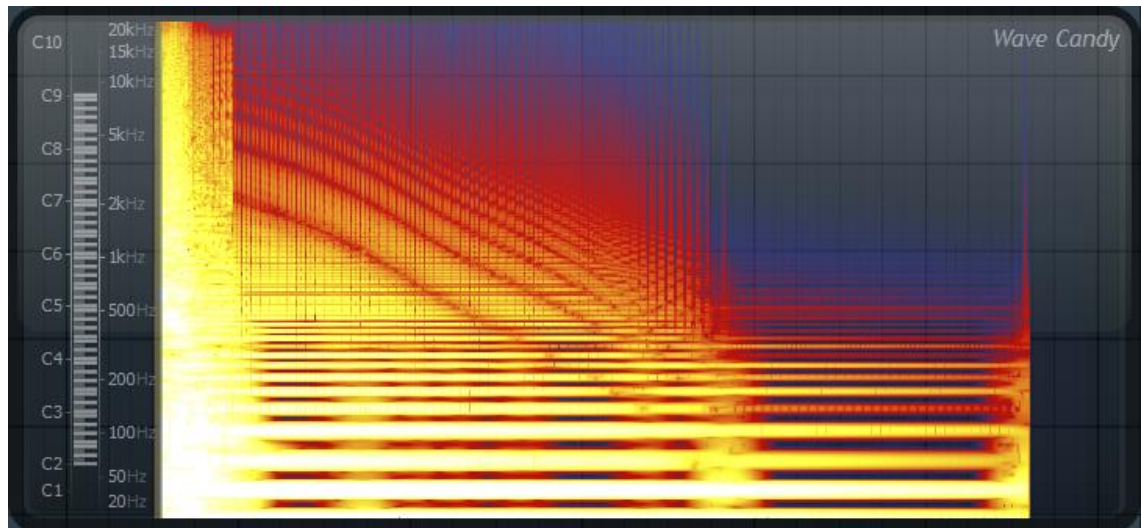
Äänen muokkauksessa äänenvoimakkuutta mitataan niin, että 0 desibeliä on korkein toivottu äänenvoimakkuus, jonka jälkeen äänessä voi ilmetä esimerkiksi säröilyä. Äänet mitoitetaan 0 desibelin alapuolelle, ja yleisenä ohjeena miksaukseen on säätää mikserin raidat esimerkiksi -6 desibeliin, jotta ääneen jää viimeistelyvaraa.

Kun äänenvoimakkuus saavuttaa korkeimman kohdan ja menee mittareissa yli kahden desibelin, ääni ilmenee vain tasaisena palikkana aaltoilun sijaan. Tässä tapauksessa ääni soi liian kovalla, jolloin siinä ilmenee säröilyä ja muita häiriöääniä. Kuvassa 1 on tavallinen kuvaus ääniaallosta: se kuvastaa bassorummun etenemisen ensimmäisestä varsinaisesta iskusta. Taajuudet ovat ensin korkeammat ja tämän jälkeen seuraa matalampien taajuuksien osuus, ja varsinainen basso näkyy selkeämpänä harvemmin värisevänä ääniaallon häntänä. [1;2.]



Kuva 1. Bassorummun ääniaalto varsinaisesta iskusta vaimenemiseen asti.

Varsinaisen iskun vaiheessa värähtely on niin tiheää, ettei sitä näe kuvasta, mutta bassotaajuuksien häntäpäähän värähtelyn voi huomata aaltoilevasta liikkeestä. Kuva 2 havainnollistaa taajuuksien näkökulmasta saman äänen. Kuvassa kirkkaimpana keltaisena ja valkoisena näkyvät värit kertovat, missä kohtaa taajuusspektriä ääni on eniten läsnä. Värin muuttuminen punaista ja lopulta sinistä kohti kertoo siitä, että ääni vaimenee näit-
ten taajuuksien osalta. Kuvan vasemmalla puolella näkyvä taajuusspektri osoittaa, että ääni todella soi matalammilta bassotaajuuksilta keskitaajuuksille äänen lopulliseen vaimenemiseen saakka. [2.]



Kuva 2. Bassorummun ääniaalto taajuusspektrillä kuvastettuna.

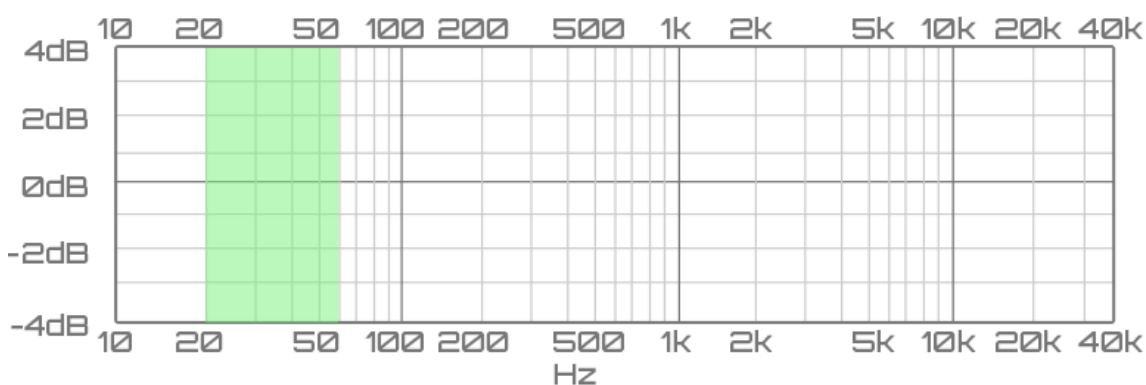
2.1 Taajuusväli

Ääni tunnetaan fysiikassa ääniaaltojen kautta äänilähteestä lähtevän värähtelyn tuottamana äänenä. Tällaisia värähtelijöitä tai värähdyksiä ovat esimerkiksi kiristetyin jousen tuottama värähtely, tai rumpukalvon lyömisestä seuraava värähtely, jonka korva kuulee tietyn taajuusalueen äänenä. Ihmisen kuuloalue on yleisesti 20 ja 20 000 hertsin välillä ja ihmisen kuulo on keskittyneempi havaitsemaan ylempiä keskitaajuuksia 2000 ja 5000 hertsin välillä. [2.]

Yleistä myös kuulolle on korvan väsyminen, jos se on altistuneena liian pitkään liian voimakkailla ylempien keskitaajuuksien äänille esimerkiksi 2000 ja 3000 välillä. Muita yleisesti tunnettuja taajuusvälejä ovat alemmat bassotaajuudet 20 hertsistä 60 hertsiin, bassotaajuudet 60 hertsistä 250 hertsiin, alemmat keskitaajuudet 250 hertsistä 500 hertsiin, keskitaajuudet 500 hertsistä ylempien keskitaajuuksien alarajaan eli 2000 hertsiin, aiemmin mainitut ylempät keskitaajuudet 2000-5000 sekä preesens-väli 5000 hertsistä 6000 hertsiin. Viimeisenä taajuuskirjon yläpäässä on diskanttialue, joka jatkuu aina 6000 hertsistä taajuusalueen loppuun, eli 20 000 hertsiin asti. [2.]

Taajuuksien esitystavat

Taajuuksien hahmottamiseen auttaa niiden jaottelu edellä mainittuihin väleihin. Itse olen oppinut tunnistamaan taajuusvälit parhaiten parametriseen ekvalisaattorin eli taajuuskorjaimen avulla, joka näyttää visuaalisesti, millä taajuuksilla soitin kirkkaimmin soi taajuusspektrissä. Taajuuskorjainta tosin käytetään työkaluna muuhun kuin taajuusspektrin tutkimiseen, mutta se auttaa siitä huolimatta hahmottamaan omaa tekemistä hyvin sekä visuaalisesti että auditiivisesti, sillä taajuuskorjaimen avulla voi halutusta äänestä leikata (tai korostaa) haluamiaan taajuuksia, jolloin kuultavaan ääneen saadaan selkeitä muutoksia. Esimerkiksi kuvassa 3 maalattujen alempien bassotaajuuksien korostaminen saa aikaan selkeää huminaa äänessä ja sen leikkaaminen sitä vastoin poistaa kaiken huminan ja jättää vain korkeammilla taajuuksilla kuuluvat terävämmät äänet. [2; 3.]



Kuva 3. Taajuusspektri 10 hertsistä 40 000 hertsiin. Maalattuna alemmat bassotaajuudet 20 hertsistä 60 hertsiin. [2.]

Kuvassa näkyy laajennettu versio taajuuskiirjosta, joka alkaa jo 10 hertsistä ja päättyy 40 000 hertsiin, vaikka ne ovatkin ihmisen kuuloalueen ulkopuolella. Kuvassa on myös pystyakselilla kuvastettu desibelien voimakkuutta siten, että kuvan leikkaava vaaka-akseli on 0 desibelin kohdalla ja ala- ja ylärajat ovat 4 desibeliä nollan ylä- ja alapuolella. [2; 3.]

Ääniaallot näyttävät värähtelytaajuutensa vuoksi erilaisilta matalassa päässä taajuusspektriä mitä korkeammalle spektrissä edetään. Matalan taajuuden värähtely on vaihtelevampaa, kun taas korkeamman taajuuden värähtely on tiheämpää. Taajuuksia ja ääntä voidaan esittää monella eri tavalla, myös kolmiulotteisesti, mutta itse olen kokenut parhaaksi tavaksi havainnoida niitä taajuuskorjaimen avulla ja itse ääniraitoja tutkailemalla. Taajuuskorjaimen avulla voi muokata haluttuja ääniä tai raitoja selkeyttääkseen

musiikin kokonaisuutta, ja se onkin miksauksessa yksi tärkeimmistä työkaluista. Sen avulla voidaan esimerkiksi leikata korkeammilla taajuuksilla selkeimmin soivasta äänestä matalammat taajuudet pois. Ne vievät taajuusspektrin matalammasta päästä ”turhaa tilaa”. Asettamalla esimerkiksi pianolle ylipäästösuodatin voidaan selkeyttää kokonaisuutta ja tehdä lisää tilaa bassotaajuuksilla kuuluville äänille heikentämättä kuitenkaan pianon kuuluvuutta ja äänenlaatua.

Kuvassa 4 näkyy ensin taajuuskorjaimen näkymästä taustalla soiva piano, joka soi taajuuskorjaimesta nähtävästi vahvimmin keskitaajuuksilla, kun muutoksia ei ole tehty. Kuvassa 5 olen lisännyt pianon taajuuskorjaimeen ylipäästösuodattimen taajuusspektrin alkupäähän ja leikannut pois matalat bassotaajuudet, joilla kyseessä oleva piano ei kuulu merkittävän voimakkaasti. Näin saadaan lisää tilaa matalammille taajuuksille miksauksen varten. Ylipäästösuodatin ei muuta pianon äänen- tai sävellaatua [4].



Kuva 4. Keskitaajuuksilla soiva piano taajuuskorjaimen näkökulmasta.



Kuva 5. Keskitaajuuksilla soiva piano, kun matalimmat taajuudet on leikattu pois ylipäästösuodattimen avulla.

Pinkki ja valkoinen kohina

Termit "pink noise" ja "white noise" tarkoittavat pinkkiä ja valkoista kohinaa, joita käytetään miksauksessa esimerkiksi laitteiden kalibrointiin. Pinkki kohina on ihmisen kuulon käytökselle tutumpi, sillä se käyttää sävelkorkeuksien energiaa ja niiden vaihteluita oktaaveittain, kun taas valkoinen kohina tekee saman taajuuksien kanssa. Koska ihmisen kuulo toimii oktaavien avulla, 400 hertsin ja 800 hertsin ero kuullaan yhtenä oktaavimuutoksena, samoin 5 000 hertsin ja 10 000 hertsin muutos kuullaan myös yhtenä oktaavimuutoksena.

Taajuuksien noustessa korkeammalle niiden tiheys lisääntyy, jolloin edellä mainittu viiden kilohertsin ja kymmenen kilohertsin ero kuulostaa oktaaveittain samalta kuin matalampien 400 ja 800 hertsin ero. Taajuudet kaksinkertaistuvat aina aiempaan oktaaviin nähden koko taajuusalueelle siten, että edellisen välin taajuudet ovat kaksinkertaistuneet aina seuraavaan ylempien taajuuksien taajuusväliin.

Kuulokkeet ja kaiuttimet kalibroidaan pinkin kohinan avulla vastaamaan haluttua laatua ja tulosta äänentoistossa. Valkoista kohinaa käytetään elektronisten äänten ja instrumenttien parametrien testaukseen, ja se toimiikin hyvänä työkaluna elektronisen äänen miksauksessa. Valkoinen kohina on visuaalisesti tarkasteltuna tasaisempi taajuusspektillä ja täten alhaisempi matalan pääntaajuuksien kohdalla ja korkeampi ylempien ja korkeimpien taajuuksien kohdalla. Tämän ylempien taajuuksien liiallisen ”kirkkauden” voi vaimentaa osittain laskemalla 4 000 hertsin jälkeen tulevia taajuuksia kolme desibeliä oktaavia kohti. [5; 6.]

Pinkki kohina sopii esimerkiksi tasapainoisen miksauksen saavuttamiseksi, ja samaa tekniikkaa aion käyttää tämänkin työn kappaleeseen, jonka miksaan tätä työtä varten erikseen.

2.2 Ääni akustiikan historiassa

Vaikka akustiikkaa on huomioitu arkkitehtuurissa ja sen suunnittelussa jo kahden tuhatvuoden ajan, siitä on tehty ensimmäiset tieteelliset tutkimukset vasta 1800-luvun loppupuolella. Huoneakustiikkaa tutki ensimmäisenä yhdysvaltalainen fyysikko Wallace Sabine, joka osoitti, että tärkein määre huoneen akustiikan määrittelyssä on sen kaiun aika. Sabine loi tieteellisen pohjan kaiun ajan määrittelylle ja ennustamiselle. [7.]

Harvardin yliopiston avatessa Fogg Art Museuminsa vuonna 1895 sen auditorio osoitti vakavia akustisia puutteita ylimääräisen kaiun vuoksi. Sabinea pyydettiin etsimään ratkaisu ongelmaan. Hän havaitsi kaiun ajan moninkertaistumisen kerrottuna huoneen kokonaisabsorptiolla olevan verrannollinen huoneen volyymiin eli huoneen koon suhteen. Tämä tunnetaan Sabinen lakina. Hänen mukaansa on nimetty yksikkö sabin, jolla mitataan äänen absorboinnin tehoa. Ensimmäinen rakennus, joka rakennettiin näiden oppien mukaan, oli Bostonin sinfoniaorkesterin rakennus, joka avattiin vuonna 1900. Rakennus osoittautui suureksi akustiseksi menestykseksi. [7.]

Kun äänilähde luo ääniaallon huoneessa tai auditoriossa, havainnoitsijat kuulevat lähes tyvän ja leviävän suoran äänen lisäksi myös sen lukemattomat heijastukset seinistä, lattiasta ja katosta. Nämä jälkimmäiset heijastukset luovat heijastuneen ääniaallon tai toisin sanoen kaiun. Äänilähteen hiljentyessä kaikuvan äänen voi kuulla vielä hetken ennen sen täydellistä vaimentumista. Tuohon täydelliseen vaimenemiseen vaadittava aika, jolla

tarkoitetaan äänen intensiteetin laskemista kertoimella 10^6 , tai toisin sanoen sen vaimeudesta 60 desibeliä, on määritelty kaiun ajaksi, ja yleisemmin se tunnetaan lyhenteenä RT tai RT_{60} , joka tulee sanoista "Reverberation Time" (suoraan suomennettuna kaiun aika). Sabine huomasi kaiun ajan auditoriossa olevan suhteessa auditorion volyymiin ja sen seinien, lattian ja katon ja huoneen muiden huonekalujen kykyyn absorboida ääntä. Näitä olettamuksia hyödyntäen hän aloitti empiirisen tutkimuksen, jonka avulla kaiun aika pystyttiin määrittelemään: $RT = 0,05V/A$, jossa RT on kaiun aika sekunteina, V on huoneen volyymi kuutiometreinä ja A on huoneen totaalinen äänen absorptio laskettuna sabineina, joka on tähän kaavaan luotu yksikkö. [7.]

Sabinin yksiköllä tarkoitetaan absorptiota vastaavaa yhden neliömetrin täydellisesti absorboivaa pintaa, esimerkiksi yhden neliömetrin reikää seinässä tai viiden neliömetrin pintaa, joka absorboi 20 prosenttia äänestä, joka iskeytyy sen pintaan. Kaava on alun perin laskettu jalkoina, joka on amerikkalainen mittayksikkö. Yksi jalka on 0,3048 metriä, jolloin tuota kaavaa pitää soveltaa neliömetrien kohdalla neliöjalkoina. Huoneen muoto ja akustiikan analyysi alkaa tällä yhtälöllä. Yhtälöä ja seinien myötävaikuttavia materiaaleja hyödyntäen voidaan saada arvio siitä, kuinka huone toimii akustisesti. Äänen absorboijat ja heijastajat tai niiden yhdistelmät voivat muokata kaiun aikaa ja sen taajuuden riippuvuutta ja saavuttaa näin halutuimmat erityispiirteet tiettyjä tarkoituksia varten.

Absorptioon myötävaikuttavia pintoja on annettu kuvassa 6, jossa ääniaalto on pilkottu taajuuden funktioksi äänen osuessa eri pintamateriaaleihin. Huoneen kaikkien pintojen absorptio lasketaan yhteen, jotta saadaan laskettua kokonaisabsorptio (A). Kuvassa materiaalit ovat listattuna vasemmalla: ylhäältä alaspäin luettuna betoni (concrete), kipsilevy (plasterboard), akustiikkalevy (acoustic board) ja verhot (curtains). Vaakasuoraan etenevät luvut ovat taajuuksia hertseinä 125 hertsistä 4 000 hertsiin. [7.]

Absorption coefficients of common materials at several frequencies						
	frequency (hertz)					
material	125	250	500	1,000	2,000	4,000
concrete	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
plasterboard	0.20	0.15	0.10	0.08	0.04	0.02
acoustic board	0.25	0.45	0.80	0.90	0.90	0.90
curtains	0.05	0.12	0.25	0.35	0.40	0.45

Kuva 6. Erilaisten pintojen absorptiokerroin usealla eri taajuudella [8].

Vaikka ideaalia tarkkaa arvoa kaiun ajalle ei ole, on siitä huolimatta eri tarkoituksiin sopivia arvojoukkoja, jotka sopivat kukin omaan tarkoitukseensa parhaiten. Siihen vaikuttaa huoneen koko, mutta keskiarvot voidaan laskea ja ilmaista viivadiagrammeilla. Esimerkiksi puheen ymmärtämisen selkeyden vuoksi huoneen kaiun ajan täytyy olla lyhyt, kun taas äänen täyden kuuluvuuden vuoksi oopperassa tai sinfoniassa äänellä tulee olla pitkä kaikumisaika. [9.]

2.3 Akustiset ongelmat tilankäytössä

Nykypäivän yleistyvänä ilmiönä kotistudiot aiheuttavat toistuvasti yleisiä akustisia ongelmia huoneen ominaisuuksien vuoksi. Huonetta sisustavat huonekalut ja muuhun kuin studiokäyttöön tarkoitetut tavarat voivat aiheuttaa erilaisia haittaääniä miksauksen näkökulmasta, ja huone voi yksinkertaisesti olla epäoptimaalisen muotoinen musiikkia ja ääniä varten. Ongelmien selvittämiseksi tulee kuitenkin ymmärtää, että äänelle tapahtuu oikeastaan vain kolmea eri asiaa: se voi imeytyä, heijastua tai hajaantua. Kaikkia kolmea pitää ajatella kriittisesti huoneen akustisuuden ja siinä tehtävän miksauksen onnistumisen kannalta.

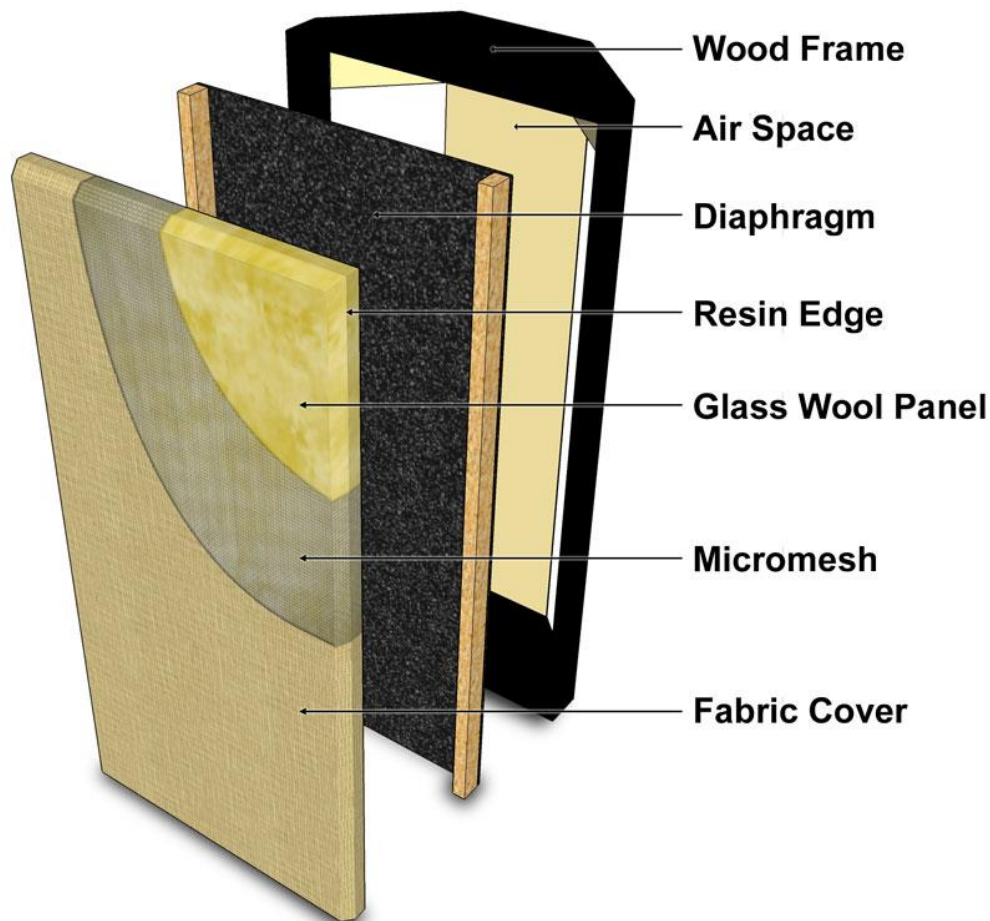
Alimpien taajuuksien hallinta nousee tärkeimmäksi seikaksi yleisimmissä akustisissa ongelmissa kotistudioissa. Alimmilla taajuuksilla tarkoitetaan tässä mitä tahansa alle sadan hertsin taajuuksilla kuuluvia ääniä. Tämä määritelmä on siksi, että yli sadan hertsin taajuuksille tarvitaan eri tavoin toimivia ääntä absorboivia eli itseensä imeviä teknologioita pienissä huoneissa.

Äänen absorptioteknologiat vaativat huomattavasti erilaisempia lähestymistapoja, jotta äänen hallitsemiseen ja hoitamiseen voidaan vaikuttaa. Alle sadan hertsin äänienergia tarvitsee massaa, syvyyttä tai välimatkaa. Yli sadan hertsin äänienergia puolestaan pärjää teknologioilla, jotka vievät paljon vähemmän tilaa ja voivat esimerkiksi olla seinille kiinnitettyä vaahtomuovia. Hallinnan vaikein osio tapahtuu kuitenkin juuri alle sadassa hertsissä. [10.]

Akustiikkaan keskittynyt insinööri Dennis Foley [10] kuitenkin opastaa jokseenkin ristiriitaisesti, että matalien taajuuksien äänienergiaa ei voi estää tai tarkemmin ”kaapata” esimerkiksi bassoansoilla, kun hän samalla opastaa, kuinka bassoansan voi tehdä. Bas-

soansoista puhun tarkemmin työn myöhäisemmässä vaiheessa. Foleyn mukaan alle sadan hertsin taajuuksia voi ainoastaan hallita tai ohjata, mutta muuta niille ei oikeastaan voi tehdä. Huoneen koko ja sen muuttaminen tosin voi auttaa ongelmaan matalien taajuuksien kaappaamisen yrittämisen sijaan. Huoneen pienentäminen on yksi keino matalien taajuuksien hallintaan, ja siihen voi vaikuttaa sijoittamalla huoneen reunoille tai rajoille matalien taajuuksien hallintaan tarkoitettut himmentimet, jotka absorboivat tehokkaasti matalia taajuuksia. [10.]

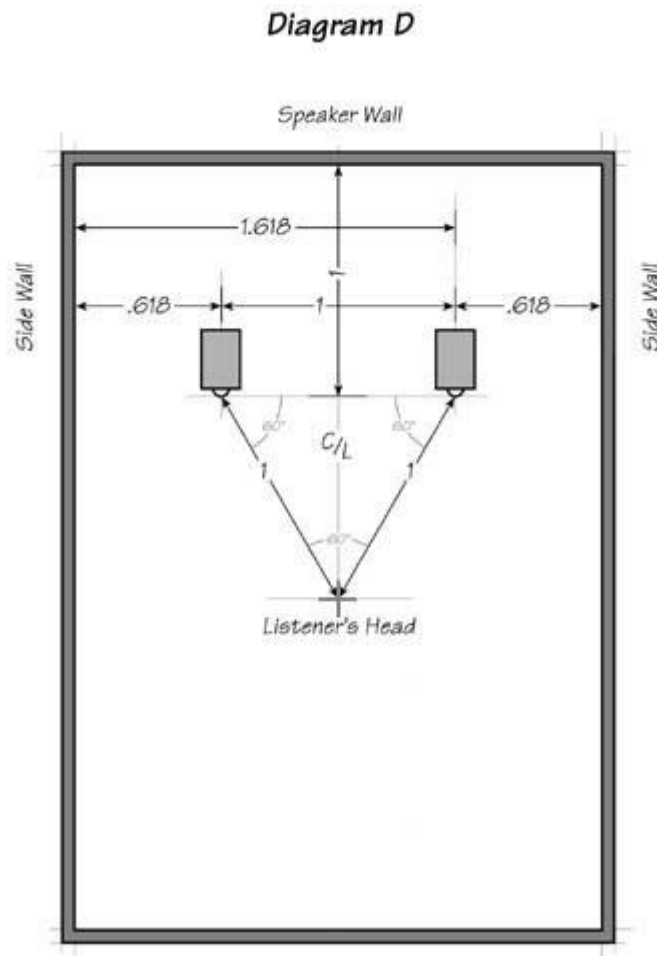
Kuvassa 7 näkyy kerroksittain, kuinka vastaavanlainen himmennin voidaan rakentaa jättämällä viimeiseksi hieman tyhjää tilaa vaimentimen taakse puisen kehyksen sisään. Päälimmäisenä pinnalla on kankainen päällyste, jonka sisällä on esimerkiksi lasivillaa. Tämän jälkeen tulee erillisessä kerroksessa varsinaisen himmennuksen suorittava osa eli himmennin. [10.]



Kuva 7. Matalien taajuuksien absorbointiin tarkoitettu himmennin [11].

Kaiuttimien sijoittelu on myös olennainen asia ottaa huomioon akustisten ongelmien näkökulmasta, mutta myös studion onnistumisen kannalta. Kaiuttimet tulisi sijoittaa samalle etäisyydelle siitä ympäröivistä seinistä, niin että muodostuu kolmio etäisyyksien suhteessa kuuntelijan istumapaikkaan nähden. Etäisyyden kaiuttimien ja kuuntelijan välillä tulee olla suurempi tai yhtä suuri kuin etäisyys kaiuttimien välillä. Esimerkiksi oikea kaiutin ei voi olla edempänä tai lähempänä viereistä seinää kuin vasen. Ääni etenee ilmassa 21 asteen lämpötilassa 344 metriä sekunnissa. [9;10.]

Ääni etenee lähtökohtaisesti suorana jana äänilähteestä sen ulostulosuuntaa kohti, kunnes se löytää uuden kohteen. Tämän vuoksi ääni kimpoaa sivuavasta seinästä takaisin kuuntelijan korvaan myöhemmin kuin sen tullessa suoraan kuuntelijaa kohti, sillä se joutuu matkustamaan seinän kautta pidemmän matkan päästäkseen kuuntelijan korviin asti. Kaiuttimien tulisi olla yhtä lähellä sivulla olevia seiniä kuin takana olevaa seinää. Kuvassa 8 kuuntelija on sijoitettu huoneen keskelle ja kaiuttimet yhden yksikön päähän hänestä oikealle ja vasemmalle puolelle, kaikki yhtä kauas toisistaan kolmion muodossa. Kaiuttimet ovat yhtä kaukana toisistaan kuin kumpaakin lähinnä olevasta seinästä ja niiden takana olevasta seinästä. [9;10.]



Kuva 8. Kaiuttimien asettelu huoneessa kuuntelijan ja seinien suhteen [12].

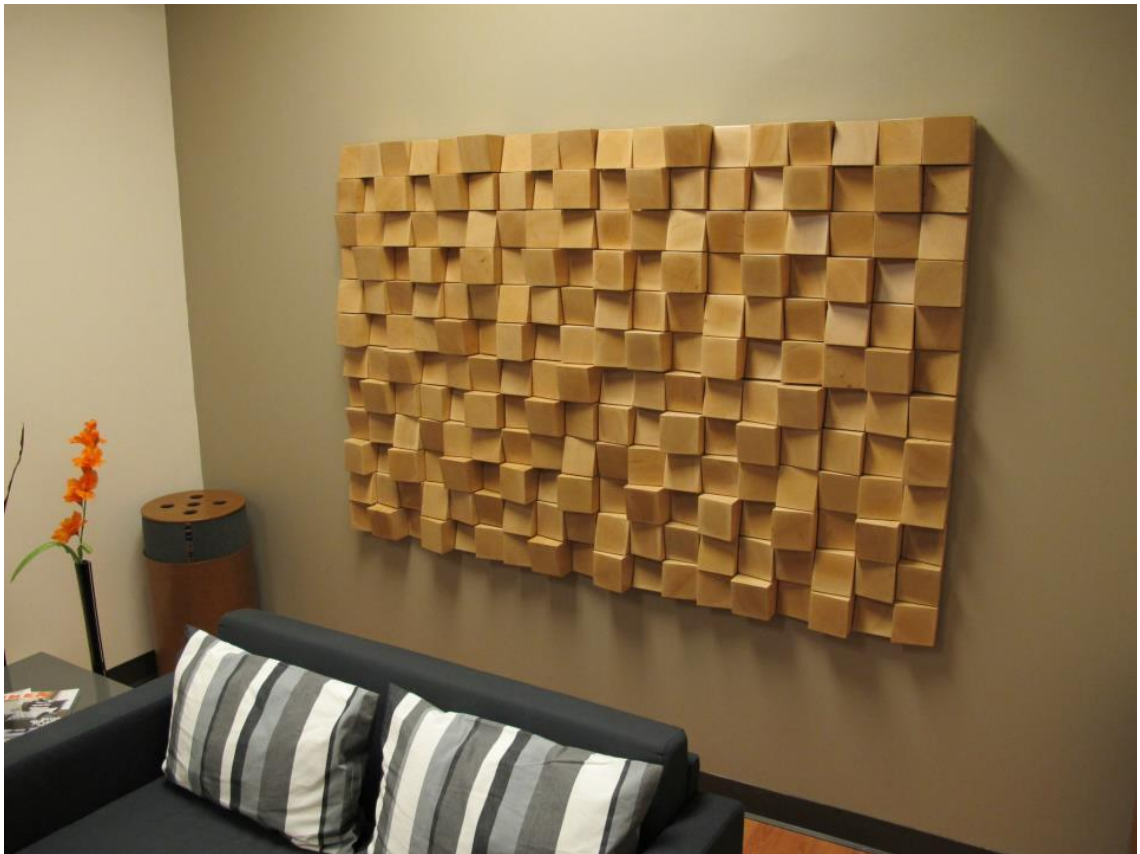
Äänen saapuminen kuuntelijan korviin hidastuu sitä mukaa, mitä enemmän sillä on matkaa kimpoilla seinien kautta päästäkseen lopulliseen päämääräänsä. Vaikka äänilähde olisikin kohtisuorassa kuuntelijaa kohti, se kuuluu silti myös seinien kautta kimpoilevana. Tämän takia äänilähteiden eli kaiuttimien tulee olla yhtä kaukana seinistä, jotta ääni saapuisi samaan aikaan kummankin kaiuttimen osalta kuuntelijan korviin. Näiden heijastusten avulla voidaan asettaa paikalleen oikeanlaiset ääntä imevät tekniikkalevyt ja vaimentimet.

Joskus ääntä imeviä esineitä ja eristeitä voi olla jopa liikaa. Tämä usein ilmenee siten, että ääntä imeviä huonekaluja tai muita absorboivia esineitä on huoneen joka puolella. Yhdenlaisten eristeiden hankkiminen ei kuitenkaan tarkoita, että ne eristäisivät kaikkia taajuuksia yhtä lailla, jolloin esimerkiksi tulee eristettyä liikaa joitain tiettyjä taajuuksia ja erehdytään luulemaan, että esimerkiksi myös matalammat taajuudet ovat eristettyjä yhtä lailla. Ääntä ei siis tule absorboida liikaa, jottei akustista vahinkoa äänelle tulisi liikaa [10.]

Äänen liiallinen absorbointi on tarpeetonta. Äänen absorbointia tarvitaan kuitenkin huoneen kovien pintojen heijastuksia varten. [10.]

Yleisesti katto ja lattia jäävät vähemmälle huomiolle, eikä niiden ajatella vaikuttavan kokonaisuuteen. Tämä ei kuitenkaan pidä paikkaansa. Sekä katto että lattia ovat tärkeitä kovia pintoja, jotka tulisi huomioida huoneen akustiikan kannalta. Ääni kantautuu katon ja lattian kautta nopeammin kuuntelijan korviin kuin seinien kautta. Katto ja lattia ovat myös yleisemmin lähempänä kuuntelijaa kuin ympäröivät seinät, ja ne osallistuvat heijastusten kautta usein miksaukseen ja musiikkiin, jota huoneessa soitetaan. Tästä syystä yleisen ohjeen mukaan niitäkin tulisi lähestyä ja käsitellä huoneen akustiikan parantamisen mukaan yhtä lailla kuin seiniäkin. [10.]

Katto voidaan käsitellä esimerkiksi käyttäen absorbointia tai äänen hajaannuttamista. Jokaisella käsittelyllä huoneessa on oma akustinen tarkoituksensa huoneessa, joten ennen käsittelyä tulisi määritellä, mitä huoneessa aikoo tehdä ja mihin sitä tullaan käyttämään. Jos huone esimerkiksi on tarkoitettu kontrollointia varten, kaikkien äänien tulisi kuulua miksauksessa. Yleensä halutaan, että monitorointivaiheessa huoneesta heijastuvat äänet jäisivät vähäisemmäksi. Tällöin kattoon voidaan sijoittaa esimerkiksi matalien taajuuksien absorbointia, jottei katto heijastaisi liikaa säriseviä ääniä. Jos taas huone on tarkoitettu musiikin kuuntelua ja sen toistoa varten tulisi akustisen käsittelyn olla erilaista huoneen reunoilla. Kuvassa 9 on ensin havainnollistettuna yksinkertaisempi äänen hajaannuttaja, joka voidaan sijoittaa joko seinille tai kattoon. Kuvassa 10 on hieman monipuolisempi versio samaan tarkoitukseen suunnitellusta hajaannuttajasta. [10.]



Kuva 9. Ensimmäinen versio äänen hajaannuttajasta [13].



Kuva 10. Hieman monipuolisempi versio äänen hajaannuttajasta [14].

Huoneen koolla ja sen tilavuudella on myös oma ratkaiseva merkityksensä huoneakustiikassa. Minkälainen huone tahansa ei välttämättä kelpaa optimaalisen akustiikan saavuttamiseksi, sillä jotkin huoneet pituus-, leveys- ja syvyyssuunnassa eivät yksinkertaisesti riitä ratkaisemaan ongelmaa matalien taajuuksien hallitsemiseen, vaikka huoneen akustiikkaa optimoisi kaikin mahdollisin keinoin. Joissain tapauksissa ainoa keino on vaihtaa huonetta. Joskus vain yksittäinen ylimääräinen neliömetri voi vaikuttaa lopputulokseen. Keski- ja ylätaajuudet vaativat myös minimietäisyydet huoneessa, jotta ne kuul-taisiin täysin ilman särövaikutuksia. Matalien taajuuksien käsittely on tärkeää, jotta voi kuulla jokaisen nuotin elektronisesta bassosta aina bassorummun iskuun ja sen kestoon saakka jokaista nuottia kohden. Tämä voidaan saada aikaiseksi oikeanlaisella ja moni-puolisella käsittelyllä. Usein bassoansat, jotka on tehty laatikoihin täyttämällä ne vaahto-muovilla ja muilla eristeillä, eivät ole riittäviä, jotta saavutetaan haluttu lopputulos. [10.]

2.4 Ääni erilaisilla pinnoilla

Kuten luvussa 2.3 on todettu akustiikan kannalta ääni heijastuu kovilta pinnoilta helposti eteenpäin aina kohti uuden pinnan tai eristeen kohtaamista lopulliseen vaimenemiseen saakka. Betoniset seinät ja katto ovat hyvä esimerkki kovista pinnoista, jotka ovat tasai-sia ja kovia ja näin heijastavat ääntä tehokkaasti eteenpäin. Tästä syystä betoniseinien ja katon kohdatessa huoneen nurkissa voi havaita äänen heijastuksesta aiheutuvaa vä-rinää tai sirinää äänen heijastuessa seinämästä toiseen.

Teoksessaan "Oma studio" J. Pekka Mäkelä [15, s.85] osoittaa huoneen kohtisuorien seinien välille ja nurkkiin muodostuvat seisovat aaltoliikkeet, jotka saattavat korostaa joi-tain valittuja taajuuksia esimerkiksi todella jymiseviksi ja/tai säriseväksi. Tällaiset mata-lamman pään seisovat aaltoliikkeet voi tunnistaa esimerkiksi siten, että joissain kohdissa huonetta jotkin tietyt matalat sävelet saattavat kuulua yhdessä kohdassa huonetta ko-vempaa kuin toisessa. Siksi esimerkiksi seinien pintojen tasaisuutta on hyvä rikkoa esi-merkiksi erilaisilla huonekaluilla, kuten tauluilla tai muilla seinäkoristeilla. Kovatkin pinnat voivat auttaa akustiikkaa hajaannuttamalla huoneessa sinkoilevaa ääntä. Puiset pinnat ovat akustisesti miellyttäviä, ja esimerkiksi puiset sälekaihtimet ikkunaa vasten huoneen sisäpuolella luovat yhdenlaisen hajaannuttajan äänelle, jos ikkunoita ei halua peittää esi-merkiksi eristeillä tai akustiikkalevyillä. Tähän tehtävään sopivat myös aiemmin luvussa 2.3 mainitsemani tarkoituksenmukaiset äänen hajaannuttajat. Puinen katto ja puiset sei-

nät voivat myös olla akustiikan kannalta edullisemmat betonisiin seiniin ja kattoon verrattuna. Ammattikäyttöön tarkoitetut studiot rakennetaan mielellään tilaan, jossa on vältetty kohtisuoria pintoja, minkä vuoksi ne saattavat sisältää tavallista vähemmän suoria kulmia. Pehmeät pinnat heijastavat myös ääntä, mutta enimmäkseen ne absorboivat sitä ja heijastavat tästä syystä vain osan aiemmasta siihen osuneesta äänienergiasta, jolloin tapahtuu äänen eristymistä. Jos huone sisältää esimerkiksi vaatekaapin tai hyllyjä, ne voidaan hyvin täyttää esimerkiksi kirjoilla tai vaatteilla, jolloin huoneeseen saadaan mahdollisuus muokata huoneen akustiikkaa haluttaessa esimerkiksi avaamalla kaappien ovia, jolloin vaimeina eristeinä toimivat kaapiston sisällä olevat vaatteet pääsevät esiin. Tehokkaat eristeet eivät heijasta ääntä eteenpäin juuri ollenkaan, ja näin ne absorboivat suurimman osan äänestä jättäen heijastuvaksi ääneksi vain murto-osan aiemmasta äänenvoimakkuudesta.

3 Miksaushuone ja sen ongelmakohdat

Työni kohteena oleva huone, jota tarkastelen opinnäytetyössäni ja jossa työn miksaus tehtiin, on noin 25 neliömetrin kokoinen. Huoneessa oli työpisteen lisäksi sohva työpisteen oikealla puolella, sänky työpisteen takana huoneen perällä, matto työpisteen ja bassovahvistimen alla sekä verhot työpisteeni edessä. Työpisteestäni vasemmalla taaempana oli tv-taso, jonka päällä tv, työpisteeni takana sohvapöytä ja sen alla matto. Huoneen seinät ja nurkat olivat vailla sisustusta, joten kovia pintoja oli työpisteeni ympärillä vielä sen verran, että ne aiheuttivat äänen heijastusta ja kimpoilua ympäri huonetta aiheuttaen lyhyen mutta huomattavan kaiun ja äänen törmäilyn seinien välillä.

Huonekaluista kaikki tv-tasoa ja sohvapöytää lukuun ottamatta olivat materiaaaliltaan pehmeitä ja eduksi äänen turhan kimpoilun pehmentämiseen ja liian kaikumisen estämiseen, mutta silti paljaat seinät ja katto aiheuttivat huomattavan mutta lyhyen kaiun esimerkiksi taputtaessa noin 60 desibelin voimakkuudella mitattuna puhelimeni mikrofoniin ja Sound Meter -sovelluksella.

3.1 Huoneen laskettu akustisuus

Huoneen akustiikan voi laskea joko hyödyntämällä aiemmin luvussa 2.2 mainitsemani Wallace Sabinen tähän tarkoitukseen luomaa kaavaa tai muin keinoin, kuten hyödyntä-

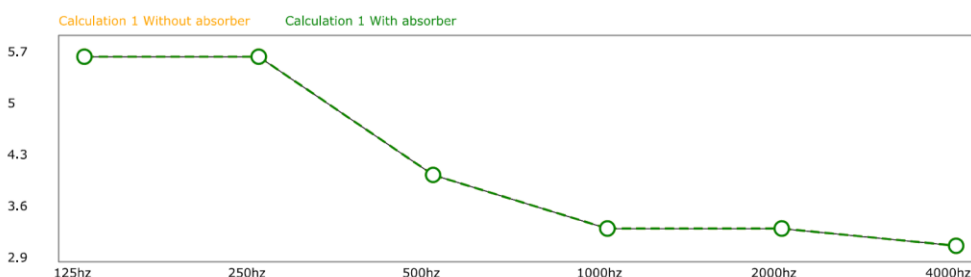
mällä tähän tarkoitukseen luotuja laskureita. Itse löysin verkosta juuri tähän tarkoitukseen luodun generaattorin, johon ensin ilmoitetaan huoneen mitat ja pintamateriaalit. Käytännössä laskuri laskee huoneen volyymin kuutiometreinä. Volyymin laskemisen lisäksi laskuri tuottaa seinien pintamateriaaleja vastaan graafin ja arvion kaiun ajasta huoneessa. Täytyy muistaa, ettei laskuriin voi lisätä huonekalujen vaikutusta kaiuun, vaan se on luotu tuottamaan kaiun aika tyhjässä huoneessa, jossa on käytännössä ainoana kaiun vaimentajana verhot ikkunoiden edessä. [16.]

Syöttämällä laskuriin huoneeni korkeuden, leveyden ja pituuden sain kokonaisvolyymin 52,02 kuutiometriä. Seuraavaa laskua varten tarjoamieni tietojen perusteella laskuri tuotti kuvaajan ja tilaston eri taajuuksien kaikumisajan arvion. Tämän arvion perusteella huomataan, että matalan pää taajuudet jäävät kaikumaan huomattavasti pidemmäksi aikaa kuin korkeamman pää taajuudet, jotka ihmiskorva kuulee selkeämmin. Matalan pää taajuuksien kaikua on vaikeampi erottaa, ja juuri tästä syystä bassoansat ja matalien taajuuksien absorbointiin tarkoitetut himmentimet tulevat tarpeeseen. [16.]

Kuvassa 11 esitän vielä laskurin tulokset ja tilastot tapauksen selkeyttämiseksi. Kuvassa Y-akselilla on kuvattu kaiun aika sekunteina ja X-akselilla taajuudet 125 hertsistä 4 000 hertsiiin. Kuvaan tuli mukaan myös toiseksi muuttujaksi laskun suoritus ilman äänen erillistä vaimenninta, vaikka tulokset ovat jokaiselta kohdalta samat. Lopuksi on tilastoituna vielä keskiarvot kaiun ajalle 125 hertsistä ja 250 hertsistä. [16.]

Calculation 1

Reverberation time T [sec]	Frequency						Average	
	125hz	250hz	500hz	1000hz	2000hz	4000hz	From 125hz	From 250hz
Calculation 1 Without absorber	5.55	5.55	3.94	3.21	3.21	2.98	4.07	3.78
Calculation 1 With absorber	5.55	5.55	3.94	3.21	3.21	2.98	4.07	3.78



Kuva 11. Huoneen laskettu kaikumisaika sekunteina 125 hertsistä 4 000 hertsiiin [16].

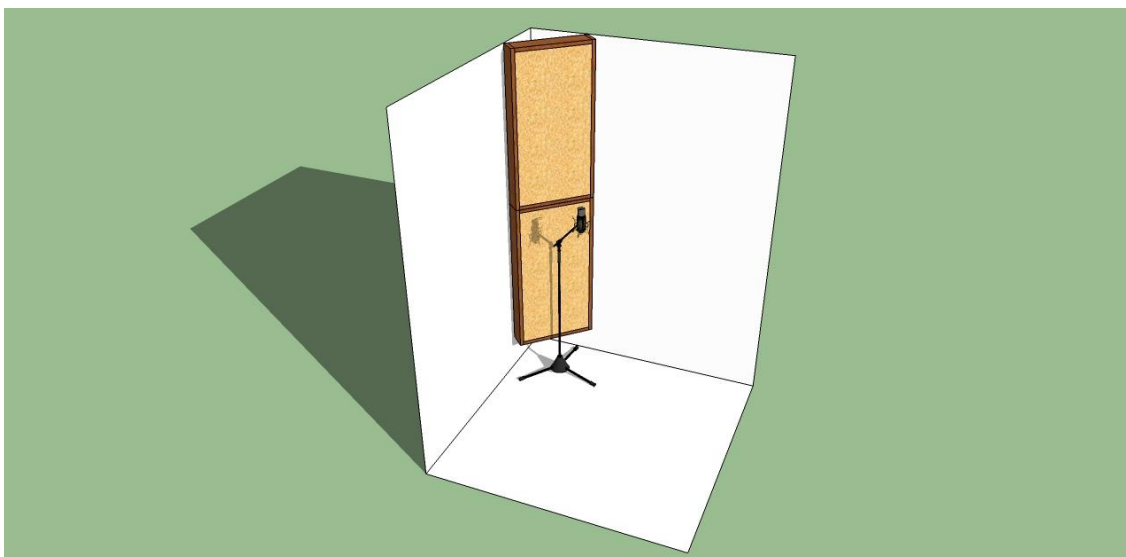
Vaikka kaiku on niin huomattava korkeammilla taajuuksilla, että korvakuulollakin sen havaitsee selkeästi, on hyvä huomata, kuinka matalien taajuuksien kaikua ei kuule juuri lainkaan, mutta silti juuri sitä on huoneessa eniten. Täytyy myös muistaa aiemmin mainitsemani asia laskun puutteista huonekalujen osalta, minkä vuoksi uskoisin oikean kuvaajan olevan tuon kuvaajan mukainen pienillä eroilla. [16.]

3.2 Miksauskeen arvioitu huoneen akustiikan vaikutus

Ennen varsinaista huoneen akustiikan kehitystä arvioin miksausken olevan näillä puitteilla mahdollista, vaikka ammattimaista jälkeä en odottanutkaan saavani aikaan. Huoneen kattoon en tätä työtä varten asentanut akustiikkalevyjä tai muita pehmusteita äänen tarkkailun parantamiseksi, mutta paljaiden seinien akustiikkaa aioin parantaa.

Seinille voisi ripustaa erilaisia akustiikkalevyjä aiemmin mainittua kaikua hillitsemään. Seinillä mikä vain pehmeämpi materiaali auttaisi kaiun vähenemisessä. Myös mahdolliset taulut auttaisivat, sillä niillä voisi rikkoa hieman muuten täysin tasaisen seinän pintaa, josta äänen on helpompi kimmota muualle. Huoneen nurkkiin olen suunnitellut bassoansoja ja muita ääntä pehmentäviä elementtejä, sillä huoneen nurkissa ääni kimpoilee helpommin eteenpäin kovista betonipinnoista siihen asti, kunnes ääni lopulta vaimenee kokonaan.

Bassoansana voi toimia esimerkiksi huoneen nurkkaan sijoitettu lasivillalevy, joka on päällystetty kankaalla tai muulla pehmeällä materiaalilla. Bassoansan ja seinän väliin tulisi ideaalisti jäädä hieman tyhjää tilaa. Bassoansa voi olla myös pyöreä esine. Kuvassa 12 oleva bassoansa on sijoitettu havainnollistavan virtuaalihuoneen nurkkaan. Kuvassa on päällekkäin kaksi bassoansaa, joten kokonaisuudessaan se yltää huoneen kattoon asti. Bassoansojen eteen on sijoitettu jalalla seisova mikrofoni. Kuvasta voi huomata myös huoneen kulman ja bassoansan levyjen väliin jäävän pienen tilan, joka on eduksi bassoansan toimivuuden kannalta. [17.]



Kuva 12. Kaksi päällekkäistä bassoansaa on sijoitettu huoneen nurkkaan. Bassoansojen edessä seisoo jalallinen mikrofoni. [18.]

Kokonaisuudessaan oletan, että huoneen vaikutus on huomattava miksauksen näkökulmasta. Suurilla äänenvoimakkuuksilla huoneen mahdolliset kaiut ja muut ongelmakohdat tulevat esiin, jolloin miksaaja ei välttämättä huomaa korjata äänessä tiettyjä ongelmia, sillä korva tottuu nopeasti ympäristöön ja kuultavaan ääneen. Tästä syystä olisi optimaalista miksata huoneessa, jossa akustiikkaan ja äänieristyksen suunnitteluun on käytetty aikaa ja kiinnitetty tarpeeksi huomiota, jotta saataisiin aikaan täydellinen ja haluttu tulos [17].

3.3 Työasema ja laitteisto

Työasemana miksausta varten käytin yhtenä yleisimpänä käytettyä työasemaa, Image Linen FL Studiota, josta käytössäni oli versio 10. Työasemasta puhutaan yleisemmin sen lyhenteellä DAW, joka tulee sanoista Digital Audio Workstation. Työasemani sisälsi erikseen ladattavien liitännäisten kautta kaikki tarvitsemani työkalut miksausta varten. Kaiuttimien osalta käytössäni oli pienet Genelecin G One -kaiuttimet sekä Genelecin F One Subwoofer vahvistamaan bassotaajuuksia. Lisäksi vaihtoehtoiseen kuunteluun käytössäni oli Kossin Porta Pro Classic -kuulokkeet, koska halusin tässä opinnäytetyössä kuunnella eroja äänenlaadussa äänentoistolaitteiden välillä. Akustiikkaa mittasin Room EQ Wizard (REW) -ohjelman ja USB-mikrofonini avulla. Ohjelma on ilmaiseksi ladattavissa verkosta. Satunnaisia äänenvoimakkuuksia, kuten aiemmin mainitsemani taputuksen mittasin puhelimeni (One Plus 3) mikrofonilla ja Sound Meter sovelluksella.

4 Varsinainen miksaus ja akustiikan havainnointi

Työn käytännön osuus keskittyi akustiikan havainnointiin mittausten perusteella ja tämän myötä kappaleen varsinaiseen miksausukseen. Työ tehtiin hyödyntämällä pinkkiä kohinaa miksausapuvälineenä. Työn mittaukset tehtiin Room EQ Wizard -ohjelman avulla kahdessa osassa, ennen huoneen akustista käsittelyä ja sen jälkeen.

4.1 Työn kulku vaiheittain

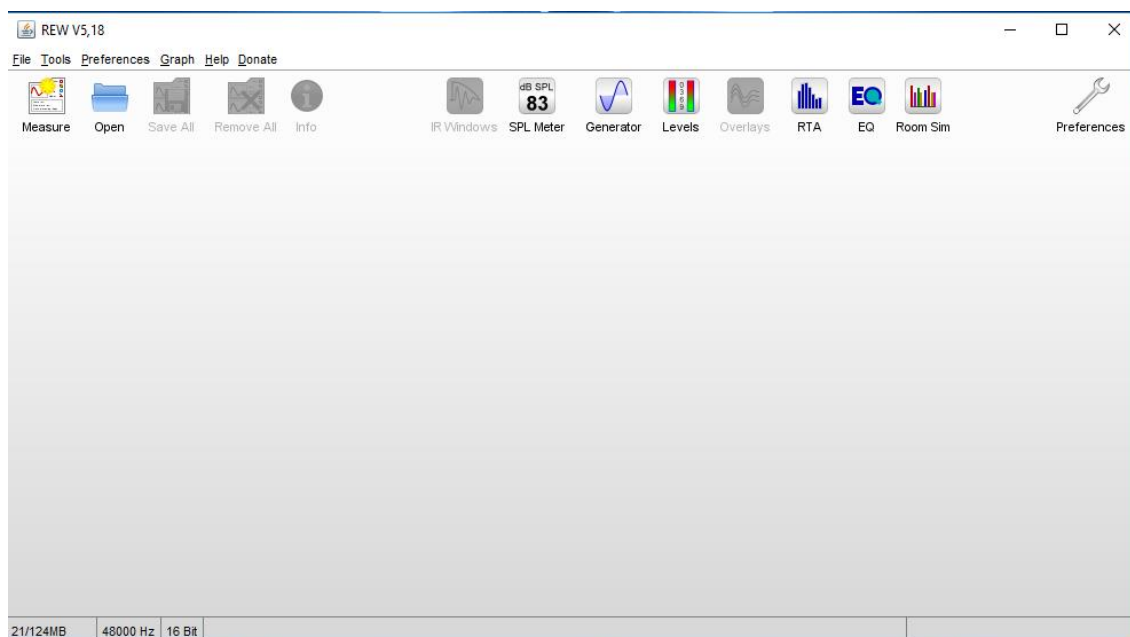
Uudelleenmiksauksessa käytin aikaisemmin tekemääni kappaletta, jota oli tarkoituksena miksata hyödyntäen paranneltua akustiikkaa kotistudiossa. Akustiikan parannusta pyrin tekemään budjetin sallimissa rajoissa ja tarkastelemaan lopullisia tuloksia useilla eri toistolaitteilla ja erilaisissa akustisissa ympäristöissä.

Koska FL-Studioissa pitää asettaa jokaiselle äänelle oma raita mikserissä, aloitin työskentelyn varmistamalla, että jokainen kappaleessa kuuluva ääni oli sijoitettu omalle raialle mikserissä, jotta äänelle ja kappaleelle voi tehdä tarvittaessa muutoksia. Selkeytin myös työasemani soittolistan visuaalista puolta, jotta työskentely olisi selkeämpää ja järjestelmällisempää.

Ennen miksausuksen jatkamista piti mitata bassovahvistimen asetuksia huoneen vanhoilla akustisilla asennuksilla. Tarkoituksena oli tehdä mittaukset samoissa olosuhteissa, joissa kotistudio oli aiemmin alkuperäistä kappaleen miksausta tehdessani.

Tarkoitukseni oli sen jälkeen parannella huoneen akustiikkaa bassotaajuuksien parannusta varten niin paljon kuin mahdollista ja suorittaa mittaus uudestaan. Bassovahvistimen perusasetukset oli asetettu normaaliin tasapainoon laitteesta itsestään, korostamatta tai vähentämättä matalia taajuuksia kumpaankaan suuntaan. Tämän jälkeen tein kappaleen uudelleenmiksauksen uusilla asetuksilla hyödyntäen pinkkiä kohinaa ja vertaillen saamiani tuloksia.

Mittauksia tein Room EQ Wizardin (REW) avulla. Työkalun avulla kaiuttimet toistavat siniaallon taajuuskirjon läpi. Tämän toimenpiteen seurauksena työkalu tuottaa graafin, joka esittää huoneen ongelmakohdat akustiikan suhteen [19; 20]. Kuvassa 13 on näkymä REW:n aloitusruudusta.



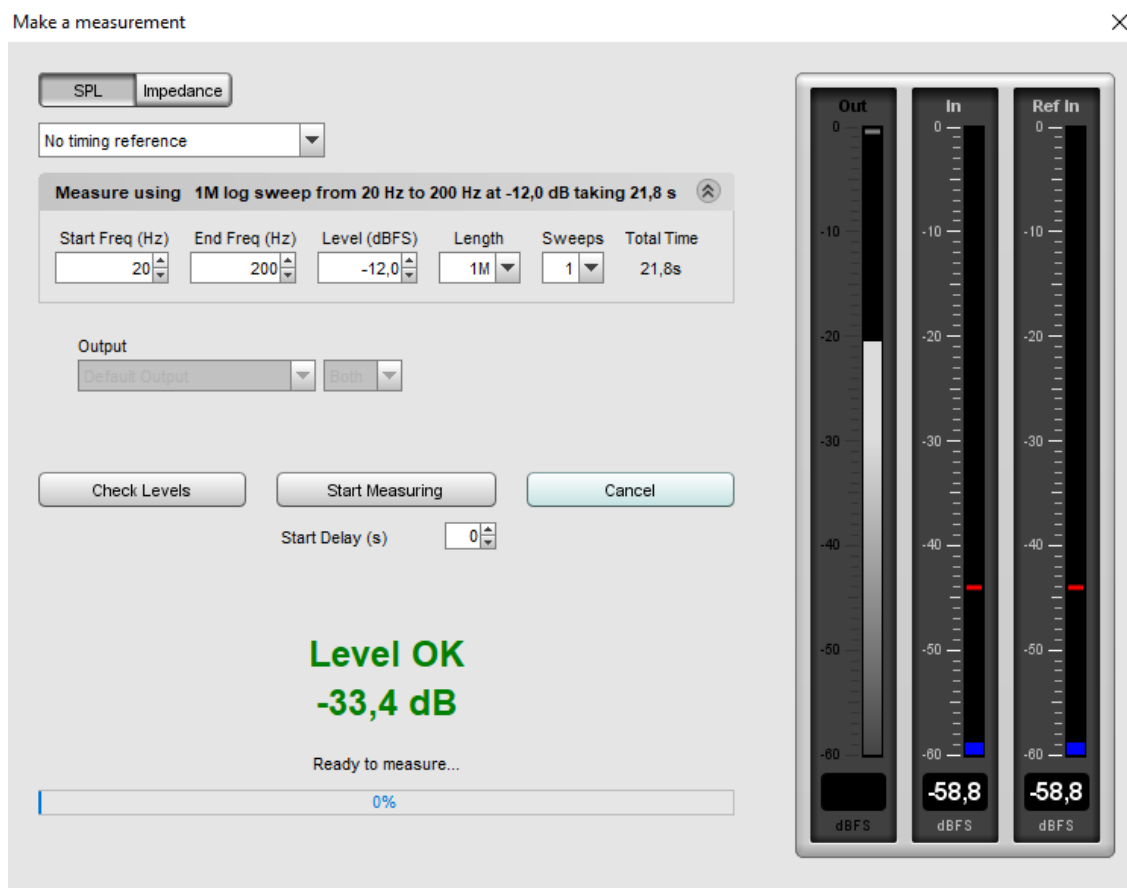
Kuva 13. Room EQ Wizardin aloitusnäyttö [19].

Valitsin vasemmassa yläkulmassa olevan vaihtoehdon "Measure", jotta voin tehdä mittauksen. Eteeni aukesi mittausten asetuksiin tarkoitettu ikkuna, josta voin päättää, mitä taajuuksia haluan mitata. Asetin mikrofoniin bassovahvistimen läheisyyteen ja säädin REW:n asetuksista aloitustaajuuksi 20 hertsiä ja lopetustaajuuksi 200 hertsiä, jolloin mittaus suoritettiin 20 ja 200 hertsin taajuusväliltä.

Kokeilin asetuksia mittausvalikon "Check Levels" -painikkeen avulla, ja sain tulokseksi -33,4 desibeliä, jonka ohjelma ilmoitti olevan sopiva. Kuvassa sama havainnollistettuna. Seuraavaksi painoin samasta ikkunasta "Start Measuring", jolloin työkalu suoritti varsinaisen mittauksen.

Otin ensin yhden mittauksen huoneen vanhalla aiemmalla akustiikalla ja seuraavan mittauksen tavoitellusti parannetulla akustiikalla bassotaajuuksia ajatellen. Mittaus kesti hetken, jolloin vain bassovahvistimeni toisti ääntä matalasta 20 hertsin päädyistä sille asettamaani 200 hertsin raja-arvoon.

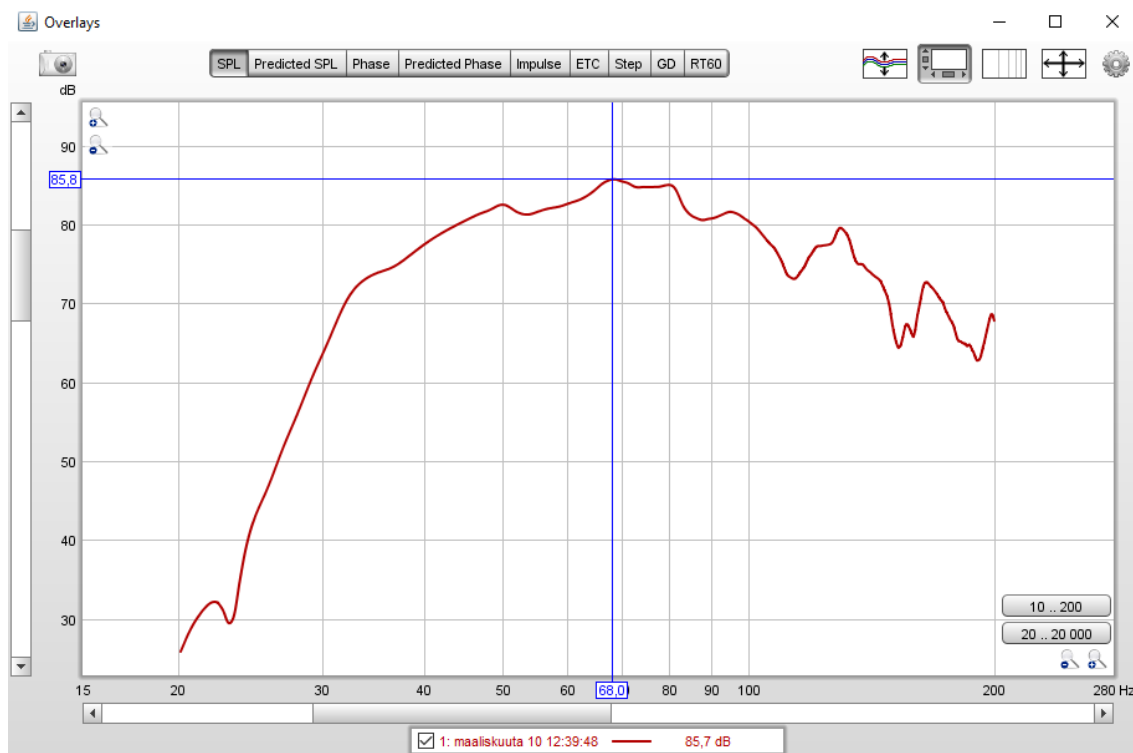
Mittauksen jälkeen REW avasi mittauksen tuloksista graafisen havainnollistavan kuvan, josta näkyi, kuinka voimakkaana ääntä oli toistettu valitsemallani taajuusalueella. Painoin REW:n sisällä nappia "Overlays", joka näytti erillisessä ikkunassa mittaukseni tuloksen havaintojen selkeyttämiseksi. Kuvassa 14 esittelen ensimmäisen mittauksen tulokset, jotka näkyvät punaisena käyränä.



Kuva 14. Room EQ Wizardin mittausten asetusvalikko [19].

Ensimmäisen mittauksen huippukohtana oli 68 hertsin kohdalla mitattu 85,8 desibeliä, joka näkyi painamalla graafin huippukohtaa hiiren vasemmalla painikkeella. Kuvan 15 käyrästä näkee taajuuksien etenemisen, joka alkaa 20 hertsin alarajasta matalalla äänenvoimakkuudella ja nousee kuitenkin taajuuksien kasvaessa lakipisteeseensä ja laskee sieltä taas hieman alemmas päättyen 200 hertsin kohdalla noin 68 desibeliin.

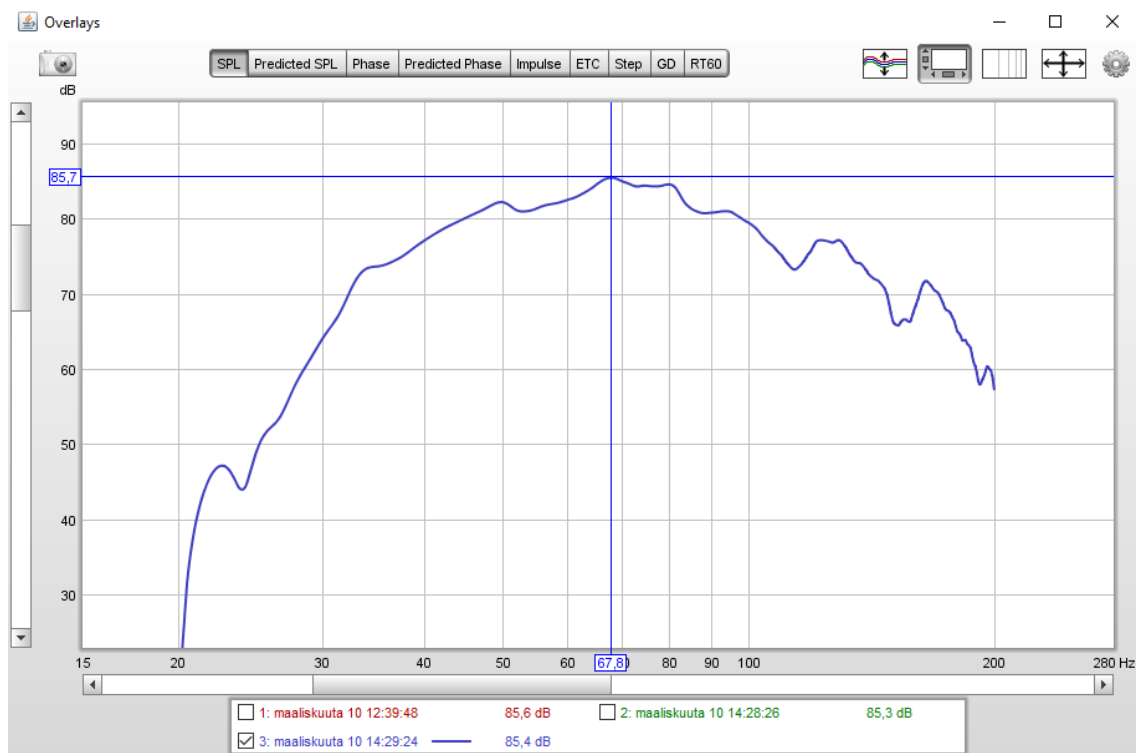
Seuraavaa mittausta varten pyrin parantamaan kotistudioni akustiikkaa bassotaajuuksiin nähden. Lisäsin bassovahvistimen ympärille, kotistudion nurkkiin, seinille ja muita kovia pintoja vasten pehmeitä materiaaleja ja levitin verhot ikkunoiden ja seinien eteen. Bassoansan rakensin pahvilaatikosta, jonka sisään asetin paidan sisään käärityn villaisen viltin ja päällystin ja teippasin aukon kiinni käsipyyhkeellä. Varmistin myös, että laatikon takaseinän ja viltin väliin jäi hieman tyhjää tilaa.



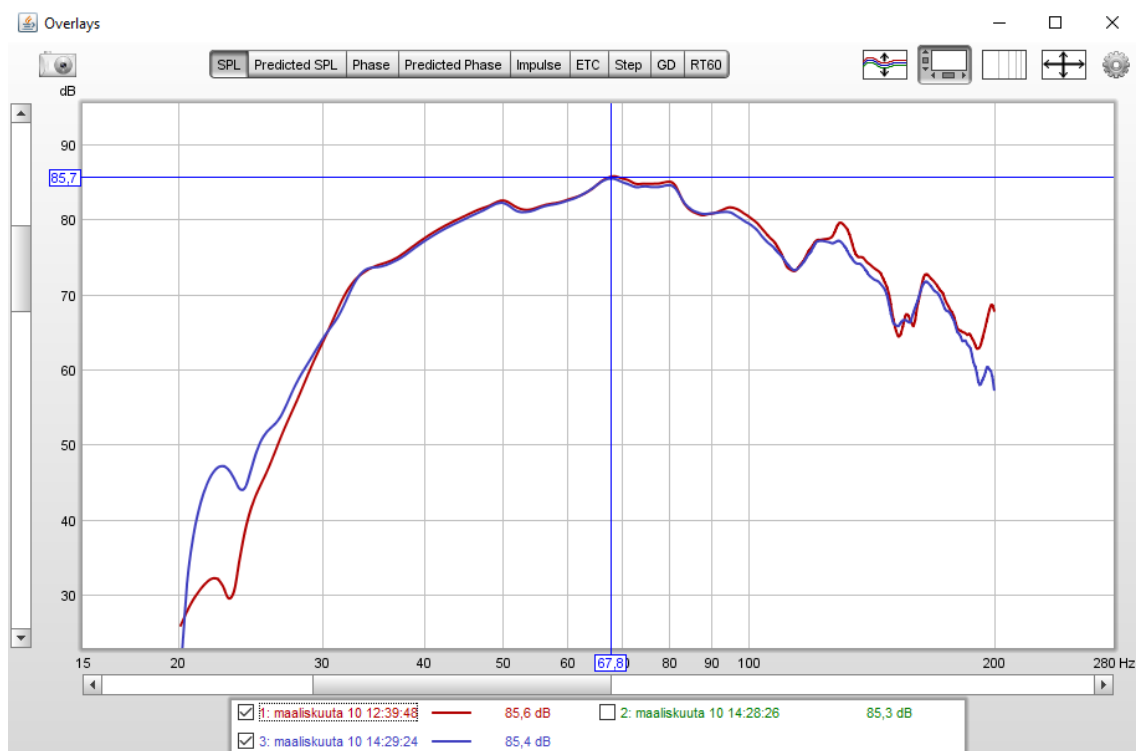
Kuva 15. Ensimmäisen mittauksen tulos 20 ja 200 hertsin välillä [19].

Toisessa mittauksessa, joka tehtiin akustisten parannuksieni jälkeen kotistudiossa, erot näkyivät oikeastaan vain taajuuksien alku- ja loppupäässä. 20 hertsin ja 30 hertsin välillä eron huomasi käyrältä, mutta muuten ne kulkivat lähestulkoon täysin samaa käyrää pitkin. Mittauksen loppupäässä näkyi myös, että 200 hertsin kohdalla ensimmäisen mittauksen äänenvoimakkuus oli korkeammalla kuin toisen mittauksen kohdalla. Ensimmäisen mittauksen asetuksilla äänenvoimakkuus jäi hivenen korkeammalle kuin toisen mittauksen asetuksilla.

Kuvasin vielä käyrät yhdessä eron selkeyttämiseksi käyrien päädyissä. Kuvissa 16 ja 17 näkyvän aikaleiman kohdalla varsinainen toinen mittaus on ohjelman ikkunassa kolmas, sillä toinen mittaus epäonnistui, koska kokeilin, miltä tulos vaikuttaisi, jos suljen ylemmille taajuuksille tarkoitetut pienemmät kaiuttimeni ja annan mittauksen tulla ainoastaan bassovahvistimestani. Käyränä sen mittauksen tulokset eivät eronneet varsinaisesti näistä kahdesta muusta, joten päätin jättää sen pois lopullisesta vertailusta ja otin työhön vain samoilla asetuksilla ja kaiuttimilla mitatut tulokset.



Kuva 16. Toinen mittaus Room EQ Wizardilla aikaleimasta huolimatta [19].



Kuva 17. Ensimmäisen ja toisen mittauksen tulokset yhdessä Room EQ Wizardilla. Punainen käyrä on ensimmäisestä mittauksesta ja sininen käyrä jälkimmäisestä mittauksesta. [19.]

4.2 Rummut

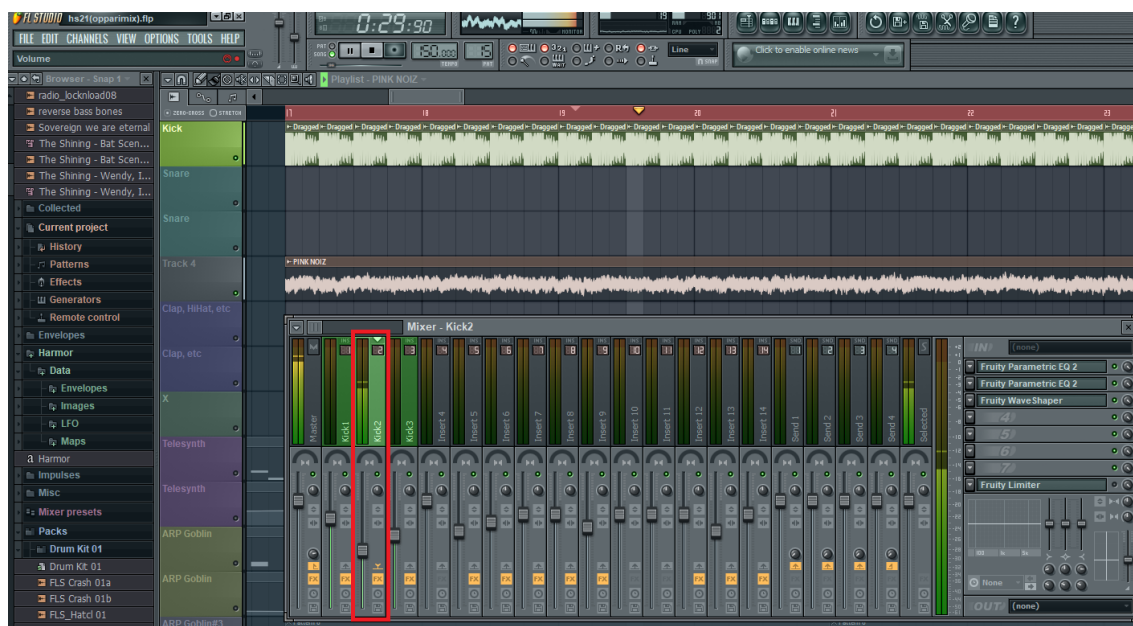
Varsinaisen miksaamisen aloitin rumpujen käsittelyllä. Halusin tässä työssä hyödyntää pinkkiä kohinaa miksauksen tasapainottamiseksi. Koska kappale oli jo ennalta luotu tietokoneelleni ja se sisälsi osittain jo aiemmin säädettyjä ja miksattuja raitoja, asetin jokaiselle raidalle tällä kertaa rumpujen lisäksi oman uuden taajuuskorjaimen ja ehostin niitten kuuluvuutta työn edetessä huoneakustiikkani asetuksien puolesta.

Opinnäytetyötä varten tarkastelemani Youtube-videon opastamana suunnitelmana oli ensin mykistää kaikki kanavat ja tuottaa vain pinkkiä kohinaa esimerkiksi ennalta ladusta tiedostosta. Tämän jälkeen tarkoitukseni oli nostaa jokaisen kanavan äänenvoimakkuutta yksi kerrallaan, kun muut kanavat ovat mykkänä. Tarkoituksena oli nostaa äänenvoimakkuutta vain sen verran, että se kuuluisi hivenen verran pinkin kohinan läpi. Aluksi halutun yksittäisen kanavan äänenvoimakkuuden voi nostaa selkeästi pinkin kohinan yli, mutta tarkoituksena oli laskea se niin, että äänen kuulee vain hivenen verran pinkin kohinan läpi [21].

Koska kappale oli lajityypiltään tanssimusiikkiin suuntautuva, oli bassorumpu olennaisessa osassa kappaletta. Tästä syystä jätin sen toistaiseksi hivenen korkeammalle äänenvoimakkuudelle. Olin tehnyt erilaisia taajuuskorjailuja luomilleni bassorumuille, jotta ne kuulostaisivat paremmilta tulevassa kappaleessa. Tässä vaiheessa näytti muokkauksista huolimatta siltä, että kokonaan uudet rummut voisivat kuulostaa paremmilta kuin äärimmilleen muokatut aikaisemmin tehdyt rummut.

Tein saman asetuksen muillekin lyömäsoittimille. Kappaleessa oli kuusi erilaista bassorumpua, joille tein kaikille samalla tyylillä tehdyn muokkauksen. Laskin äänenvoimakkuuden ensin kokonaan nolleen, minkä jälkeen nostin sen pinkin kohinan läpi kuuluviin ja taas laskin siihen asti, että kuulin juuri ja juuri tuon äänen pinkin kohinan läpi. Kuvassa 18 olen korostanut mikserin toisen kanavan punaisella kehyksellä, josta näkyy, että taustalla näkyvällä soittolistalla vain pinkki kohina ja bassorumpu soivat. Pinkki kohina soi master-kanavalla, jolla tarkoitetaan koko kappaletta koskevaa yleistä kanavaa, jonka läpi kaikki äänet lopulta kuuluvat. Laskin mikseriraidan äänenvoimakkuuden melko alas, jolloin bassorumpu kuului vain hieman pinkin kohinan läpi.

Tein tämän saman muillekin raidoille. Kappale sisälsi bassorumpujen lisäksi virvelirumpuja, taputuksia sekä muita satunnaisia lyömäsoittimia, kuten bongorummun. Taputuksiin lisäsin hieman kaikua ja korostin hieman bongorumpujen taajuuksia niitten kuuluvuuden ja eroavaisuuden vuoksi noin 200 hertsin ja 400 hertsin kohdalla. Parametrisein taajuuskorjaimen monitorista näin, mistä kohdasta ääntä tuli korostaa. Leikkasin myös matalan pään taajuudet pois, sillä kyseinen rumpu ei soi niillä taajuuksilla kuuluvasti lainkaan.



Kuva 18. Bassorumpujen säätö pinkin kohinan läpi.

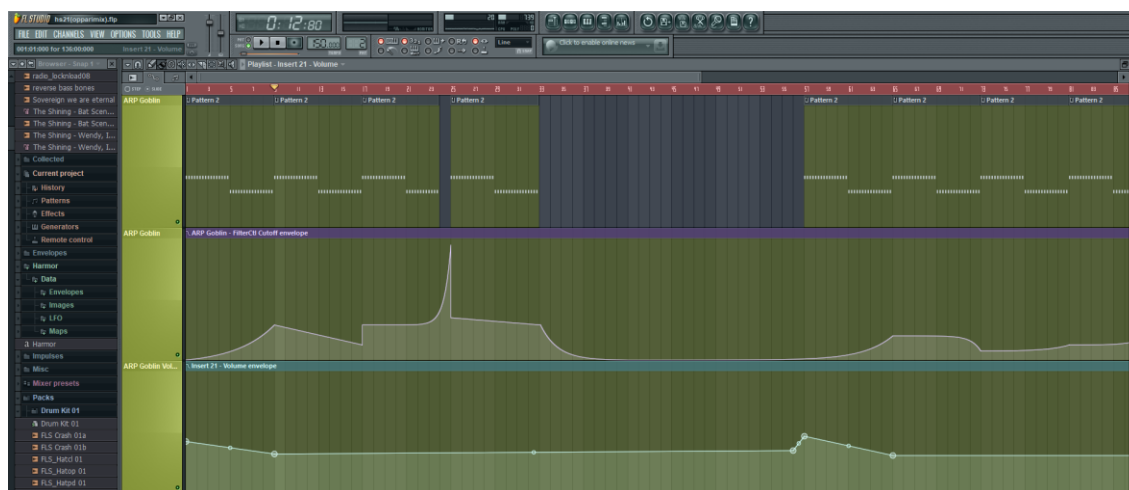
Muut lyömäsoittimet eivät mielestäni tarvinneet erillistä muokkausta taajuuskorjailun tai muun editoinnin osalta.

4.3 Basso ja melodia

Jatkoin saman tekniikan toistamista bassoäänten ja melodian kanssa kuin rumpujenkin kanssa, eli kuuntelin yhtä raitaa kerrallaan ja toistin sen päälle pinkkiä kohinaa. Ensin nostin säätämäni raidan kohinan niin voimakkaaksi, että erotin sen selvästi pinkin kohinan läpi, ja aloin sitten laskea sitä hiljaisemmaksi siihen asti, kunnes tarkasteltava ääni oli kuultavissa.

Koska yksi säädettävistä melodiaäänistä soi taajuuksiensa raja-arvon automatisoidun säätelyn mukaan eri kohdissa selkeämmin pinkin kohinan läpi kuin toisissa kohdissa, automatisoin tuon raidan mikseriäänenvoimakkuutta. Automatisoinnilla tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että suoritetaan haluttu toiminto itsemääritellyn graafin mukaisen linjan mukaan tietyn ajan kuluessa. Tässä tapauksessa säädin haluamani mikseriraidan äänenvoimakkuutta, jotta se olisi hieman hiljempaa kappaleen alkupäässä ja kovem-malla loppupäässä pinkkiin kohinaan nähden. Aloitin lisäämällä soittolistalla yhden tyh-jän raidan, johon seuraavaksi lisäsin automatisoinnille tarkoitetun graafin.

Painamalla soittolistan raidoista ”Insert one” saadaan ylimääräinen raita soittolistalle muiden raitojen väliin, ja tämän jälkeen avasin mikserin. Painoin mikseristä hiiren oike-alla painikkeella haluamani mikseriraidan äänenvoimakkuuden kohdalta, jolloin eteeni aukesi valikko vaihtoehtoja, joita voin suorittaa. Valitsin näistä vaihtoehtoista ”Create automation clip”, joka luo automaattisesti ensimmäiselle vapaalle raidalle automaa-tioleikkeen. Jokaista säädettävää ominaisuutta voi automatisoida FL-Studiossa, joten ohjelma on hyvin käytännöllinen muokkausten suhteen. Kuvassa 19 näkyy, miltä luo-mani automaatioleike näyttää. Lisäksi kuvassa näkyy, miten ajan kuluessa vasemmalta oikealle äänenvoimakkuus ensin laskee ja sitten myöhemmin nousee graafin noustessa ja laskiessa vertikaalisesti. Automatisoinnilla voi tehdä monipuolisia asioita, koska kaik-kia säädettäviä ominaisuuksia voi automatisoida.



Kuva 19. Automatisoidut taajuuksen raja-arvo ja mikseriraidan äänenvoimakkuus.

Koska olin automatisoinut kappaletta runsaasti sen luomishetkenä, jouduin tekemään saman mikseriraidan äänenvoimakkuuden automatisoinnin usealle äänelle soittolistalla, jotta se soisi tasaisemmin pinkin kohinan läpi.

Viimeistelin melodiat samalla tekniikalla aina tarpeen mukaan lisäämällä mikseriraidan äänenvoimakkuuden automaation. Seuraavaksi oli vuorossa efektien ja vokaalien läpikäynti. Saatuani kaiken tehtyä kävin kaikki raidat vielä läpi kuulokkeiden kanssa ja varmistin, että äänet kuuluivat pinkin kohinan alta vain hieman.

4.4 Efektit ja laulu

Efektien osalta lisäsin paljon automatisointia, sillä suurin osa efekteistä oli joko nousevia ääniä tai nopeasti vaimenevia pamauksia. Sen vuoksi ääntä oli joko aluksi hyvin vähän, mutta lopuksi huomattavasti enemmän ja päinvastoin. Pääasiassa valitsemani efektit ovat erilaisia suhinoita ja poksahduksia, joita olin asettanut eri kohtiin kappaletta. Efektien äänitasapaino vaihtelee nopeasti, jolloin äänenvoimakkuuden asettaminen vain yhteen kohtaan voi aiheuttaa kappaleessa epäselvyyttä ja epätasapainoa. Jos efektien äänenvoimakkuutta hiljentää liikaa, niistä jää huomattava osa kuulematta, mutta toisaalta niiden voimistaminen voi peittää muut äänet alleen.

Asetin vokaalit aluksi hieman kovemmalle siten, että ne olivat juuri kuultavissa. Kappaleen vokaalien äänenvoimakkuus vaihtelee paljon kappaleen kulun aikana, mutta niiden kuuluminen oli silti mielestäni niin olennaisessa osassa, etten halunnut niistä jäävän mitään pois. Vokaalit kuuluivat kaikesta huolimatta juuri ja juuri kohinan läpi, mutta jotkin äänteet olivat niin vaimeita, että niitä piti korostaa erikseen huomattavan yksityiskohtaisesti.

Ensi kuuntelun perusteella bassorumpu ja kertosäkeen melodia olivat hyvin epätasapainossa, joten säädin bassorumpuja hivenen hiljemmalle ja melodiaa puolestaan kovemmalle. Näitä kahta lukuun ottamatta kappaleen raidat kuuluivat monipuolisesti ja kaikki olivat erotettavissa korvakuulon perusteella. Pienten muutosten jälkeen kappale kuulosti selvästi paremmalta. Seuraavaksi kävin raidat vielä yksitellen läpi kuulokkeiden kanssa.

4.5 Tulokset

Työn lopputuloksena on mielestäni paremmalta kuulostava kappale, kuin alkuperäinen oli ollut. Äänet erottuvat selkeämmin toisistaan kuin aiemmin ja kokonaisuutena kappale kuulostaa dynaamisemmalta ja vaihtuvammalta kuin sen aiempi tasapaksumpi versio. Kappaleen työstämisessä kuitenkin hetken ehdin epäroidä pinkin kohinan soveltamista

kappaleeseen, koska arvelin kappaleen lajityylin tarvitsevan tietynlaisia korostuksia, jotta se kuulostaisi hyvältä. Tämä ei kuitenkaan pitänyt paikkaansa, ja huomasin, että kyllä suurimmaksi osaksi kannattaa vain noudattaa aiemmin toimivaksi todettua tapaa toimia ja seurata perässä. Päämelodia tosin jäi aluksi todella ohuen kuuloiseksi, vaikka se nimenomaan kuului pinkin kohinan alta vain juuri ja juuri. Arvelen, että kokemattomuuteni vuoksi en osannut kuunnella juuri oikealla tavalla ääntä pinkin kohinan läpi.

Kappale ei silti kuulosta mielestäni tarpeeksi hyvältä ja samanlaiselta, kuin kaupallinen musiikki kuulostaa ja tykkään kuunnella eli oikeasti ammattimaisen hiotulta ja dynaamiselta kokonaisuudelta. Siihen lienee syynä kappalekohtainen kiinnostavuus ja osa kappaleeseen valitsemistani äänistä ja niiden melodioista. Kappaleessa on paljon vaihtuvuutta ja efektejä, mutta erilaiset rytmimuutokset ja vaihtelut ovat jo omille korvilleni niin tuttuja, etteivät ne enää kuulosta kovinkaan ihmeellisiltä, vaikka äänet erottuvatkin nyt paremmin tekemieni muutosten myötä.

Pinkki kohina puolestaan toimi mielestäni erittäin hyvin miksauksen tasapainottamiseksi, ja suosittelen sen käyttöä ja kokeilua. Tekniikkaa oli helppo kokeilla ja toteuttaa, ja laatu oli mielestäni vaivannäköön nähden todella hyvä. Näillä akustisilla asetuksilla ei kuitenkaan voi sanoa, että ratkaisevaa vaikutusta huoneen akustiikalla tai juuri vastaavanlaisella huoneella kuin minulla on olisi painoarvoista vaikutusta miksauksen laatuun. Vaikka mittauksessa saatiinkin akustiikan parantelulla hieman eroa bassotaajuuksien kaiun vähentämiseen, en silti koe huomanneeni eroa kappaleen laadussa akustiikan osalta. Tämän työn perusteella arvioisin pinkin kohinan olevan vahvimmin vaikuttavana tekijänä miksauksen laatuun.

Ongelmakohdat

Suurimpana ongelmana mielestäni olivat ilmiselvästi rajoitetun budjetin vuoksi puutteelliset äänieristykset ja akustiset asettelut. Pienessä kerrostalon huoneistossa ei muutenkaan voi toistaa ääntä aina ihan niin kovalla kuin olisi tarpeen, joten paikoin on käytettävä kuulokkeita kaiuttimien sijaan. Huoneen kaikua en saanut poistettua korvakuulon perusteella juuri lainkaan. Huone vaatisi siis akustiikan parantelun osalta isompaa toteutusta kuin mihin minulla oli resursseja. Seinien ja katon akustiikkaa en saanut paranneltua juuri

lainkaan huoneen takaosan puolelta, joten lähes kaikki äänieristykseni painottui työpisteen välittömään lähietäisyyteen. Myös kokemattomuuteni ja digitaalisen, jo valmiiksi kertaalleen miksatun äänen havainnointi tutusta kappaleesta ei ollut alun perinkään kappaleen uudelle versiolle kovin edunmukaista.

Miksauksen osalta ongelmia ei ollut paljoa, sillä pinkkiä kohinaa oli suhteellisen helppo ja mukava soveltaa kappaleen miksausta varten. Kappale oli kuitenkin aika tasapaksu ja lattea matalan päään taajuuksien osalta, jota pinkki kohina onneksi hieman tasapainotti takaisin niin, että bassopäälle jäi enemmän tilaa soida.

Muita mahdollisia toteutustapoja

Työn olisi voinut suorittaa myös muin eri tavoin. Jos huone olisi optimaalisesti huollettu akustiikan osalta, voisi tuloksenkin odottaa olevan paremmanlaatuista. Työn olisi voinut tehdä esimerkiksi valmiiksi rakennetussa studiossa, jossa olisi myös matalien taajuuksien absorbointiin tarkoitettut himmentimet. Kun kaiuttimet ja laitteisto olisivat myös kohdallaan ja paremmanlaatuisia, voidaan olettaa, että tuloskin olisi parempi oikealla tavalla miksattuna.

Suurin ero tähän suorittamaani toteutustapaan olisi työn teko ilman pinkin kohinan soveltamista miksauksessa. Tämä tekniikka vaatisi harjaantuneempaa korvaa ja kokemusta miksauksesta ja erityisesti paremman huoneen akustiikan osalta. Tuloksia on hyvä vertailla myös useanlaisilla eri toistolaitteilla, kuten eri kaiuttimilla tai erikokoisissa huoneissa ja ympäristöissä. Yksi yleinen ja tehokas tapa testata miksausten laatua on niin kutsuttu ”autotesti”, joka tarkoittaa nimensä mukaisesti miksatun kappaleen kuuntelua auton kaiuttimista. Autossa on usein melko hyvä äänentoisto, ääntä voidaan toistaa haluttaessa kovallakin äänenvoimakkuudella ja auton sisältö on pääosin pehmeitä pintoja penkkien osalta eikä ääni pääse kimpoilemaan ja karkailemaan kovinkaan kauas. Valitettavasti tätä työtä varten tuo testi ei ollut mahdollinen.

5 Yhteenveto

Insinööri työ onnistui mielestäni hyvin, ja se jätti mahdollisuuden lisätutkimuksille. Työn teko sujui mutkattomasti, ja saatu tulos oli kelvollinen. Opin tehdyn työn avulla hyödyntämään pinkkiä kohinaa miksauksessa, ja sitä voin hyödyntää jatkossa kappaleen äänen tasapainottamisessa. Akustiikan vaikutus osoittautui työssä miksatus kappaleen laadun osalta pieneksi.

Kokonaisuutena insinööri työn kulku oli suurimmaksi osaksi selvänä mielessä, ja työn aihe oli alusta asti mielenkiintoinen käytännön ja oman harrastuksen näkökulmasta. Tässä työssä ei kuitenkaan saavutettu ammattilaistason laatua miksauksen osalta, mutta paremman kuuloinen kappale kaikesta huolimatta syntyi käytettyjen tekniikoiden puitteissa. Akustiikkaa ja sen parantelua oli kiinnostavaa tutkia ja toteuttaa käytännössä ja suunnitella ja ottaa selvää, minkälaisia oikeat ammattilaistudiot ovat.

Seuraava ja astetta vaativampi vaihe olisi toteuttaa akustiikan parantelua isommalla budjetilla ja panostaa huoneen akustiikkaan enemmän. Huoneeseen voisi asentaa akustiikkalevyjä, äänen hajaannuttajan ja bassotaajuuksien himmentimen, suorittaa mittaukset uudestaan ja tarkastella mahdollisia eroja. Tässäkin tapauksessa voisi tietysti soveltaa pinkkiä kohinaa miksauksessa ja tutkia sen vaikutuksia myös oikeassa studiossa tuotettuihin ääniin. Täysin huolletussa studiossa miksaaminen ja äänen tuottaminen kiinnostaa myös ideatasolla, sillä olen tähän asti voinut toteuttaa näitä asioita vain kotistudiossa.

Tämän työn osalta kehitystä voisi jatkaa vielä esimerkiksi autotestillä ja tarkastelemalla tuloksia useammilla eri toistolaitteilla. Toki työn voisi tehdä jälleen uudelleen myös täysin huolletussa ja asianmukaisesti rakennetussa studiossa ja tutkia akustiikan vaikutusta tarkemmin. Näillä kotikonsteilla asiaa tutkittuna saadut tulokset ovat laatunsa puolesta puutteellisia, joten asiaa voisi selvittää lisää jatkotutkimuksilla.

Lähteet

1. Speed of sound. 2018. Verkkodokumentti. ScienceDaily. <https://www.science-daily.com/terms/speed_of_sound.htm>. Luettu 11.1.2018.
2. Audio Spectrum Explained. 2018. Verkkodokumentti. Teach Me Audio. <<https://www.teachmeaudio.com/mixing/techniques/audio-spectrum>>. Luettu 23.1.2018.
3. The human hearing range. 2018. Verkkodokumentti. WIDEX A/S. <<https://global.widex.com/en/blog/human-hearing-range-what-can-you-hear?topic=hearing%20loss>>. Luettu 18.2.2018.
4. Taajuuskorjaimet. 2013. Verkkodokumentti. Emute-musiikkiteknologiasivusto. <<http://emute.edu.fi/ohjelmat/artikkelit/taajuuskorjaimet>>. Luettu 29.2.2018.
5. White Noise Definition Vs. Pink Noise. 2014. Verkkodokumentti. Acoustic Fields. <<https://www.acousticfields.com/white-noise-definition-vs-pink-noise/>>. Luettu 24.1.2018.
6. Pink noise versus white noise. 2000. Verkkodokumentti. Sweetwater. <<https://www.sweetwater.com/insync/pink-noise-versus-white-noise/>>. Luettu 24.1.2018.
7. Wallace Clement Sabine. 2018. Verkkodokumentti. Encyclopædia Britannica Online. <<https://www.britannica.com/biography/Wallace-Clement-Ware-Sabine>>. Luettu 12.2.2018.
8. Absorption coefficients of common materials at several frequencies. 2017. Verkkodokumentti. Academic. <https://universalium.academic.ru/294938/Absorption_coefficients_of_common_materials_at_several_frequencies>. Luettu 11.2.2018.
9. Reverberation time. 2018. Verkkodokumentti. Encyclopædia Britannica Online. <<https://www.britannica.com/science/acoustics/Reverberation-time>>. Luettu 15.2.2018.

10. The Top 5 Room Acoustic Problems You Face In Your Studio. 2014. Verkko-dokumentti. Acoustic Fields. <<https://www.acousticfields.com/the-top-5-room-acoustic-problems-you-face-in-your-studio/>>. Luettu 19.1.2018.
11. MaxTrap Specifications. 2018. Verkkodokumentti. Primacoustic. <<http://www.primacoustic.com/maxtrap/specifications/>>. Luettu 12.2.2018.
12. Listening Room Relationships Expressed in Golden Ratio. 2018. Verkkodokumentti. Cardas Audio. <http://www.cardas.com/room_setup_golden_ratio.php>. Luettu 13.2.2018.
13. Vicoustic Multifuser Wood 36. 2018. Verkkodokumentti. Airfon media. <<http://airfon-cinema.ru/shop/88/desc/rasseivajushhaja-panel-vicoustic-multifuser-wood-36>>. Luettu 14.2.2018.
14. UPDATE: The DIY Skyline Diffuser is slowly coming to life! 2015. Verkkodokumentti. R/audioengineering. <<http://i.imgur.com/ODLsQLT.jpg>>. Luettu 14.2.2018.
15. Mäkelä, J. Pekka. 2009. Oma studio. Helsinki: Otava.
16. Acoustics calculator. 2018. Verkkodokumentti. Troldekt A/S. <<http://www.troldekt.com/Web-tools/Acoustics-calculator>>. Luettu 5.3.2018.
17. Akustiikka ja arkkitehdin pintavalinnat. 2013. Verkkodokumentti. Surf. <<https://www.surfaces.fi/fi/blogi/bid/272915/Akustiikka-ja-arkkitehdin-pintavalinnat>>. Luettu 12.3.2018.
18. Vocal booth boomy! bass trap question. 2011. Verkkodokumentti. Gearslutz. <<https://www.gearslutz.com/board/studio-building-acoustics/620706-vocal-booth-boomy-bass-trap-question.html>>. Luettu 25.2.2018.
19. How to measure your room's acoustics with Room EQ Wizard. 2014. Verkko-dokumentti. Musicradar. <<https://www.musicradar.com/tuition/tech/how-to-measure-your-rooms-acoustics-with-room-eq-wizard-612779>>. Luettu 3.4.2018.

20. Room EQ Wizard For Beginners. 2017. Verkkodokumentti. Subwoofer 101.
<<https://www.youtube.com/watch?v=1NPOQw04NtQ>>. Luettu 13.3.2018.
21. Mixing Techniques. 2016. Verkkodokumentti. MakeYourOwnDamnMusic.
<<https://www.youtube.com/watch?v=3b3DtQALtuY>>. Luettu 14.3.2018.